



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА КРЫМА

ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

научный журнал

ISSN 2542-0720



№3 (31)
2022



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА КРЫМА»

ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

TAURIDA HERALD
OF THE AGRARIAN SCIENCES

№3 (31)

2022

ФГБУН «НИИСХ Крыма»

ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

научный журнал

ISSN 2542-0720

Главный редактор - Паштецкий В.С.
Зам. главного редактора - Дидович С.В.

Зам. главного редактора - Радченко Л.А.
Ответственный редактор - Мягих Е.Ф.
Выпускающий редактор - Овчаренко Н.С.
Технический редактор - Козак И.Е.
Ответственный секретарь - Дунаева Е.А.

Адрес редакции:

295493, Республика Крым,
г. Симферополь, ул. Киевская, 150,
т/ф. (3652)560-390,
e-mail: tavestnik@niishk.ru

Издатели:

ФГБУН «НИИСХ Крыма», 295493,
Республика Крым, г. Симферополь,
ул. Киевская, 150,
т/ф. (3652)560-007,
e-mail: priemnaya@niishk.ru

ФГБУ «АНЦ "Донской"», 347740,
Ростовская обл., зерноградский р-н,
г. Зерноград, ул. Научный городок, 3,
т/ф. (863-59) 41-4-68,
e-mail: vniizk30@mail.ru

Формат 60x84/8, усл. печ. л. 24.65
Заказ №10А/21
Тираж 500 экз.

Подписано к печати 17.10.2022.

Отпечатано с оригинал-макета в типографии
«ИТ «АРИАЛ».
295015, Республика Крым, г. Симферополь,
ул. Севастопольская, 31-а/2,
тел.: +7 978 71 72 901, e-mail:
it.arial@yandex.ru, www.arial.3652.ru

Дата выхода: 31.10.2022.
Дизайн и верстка - Н.С. Овчаренко,
Е.А. Дунаева
© ФГБУН «НИИСХ Крыма», 2022.
© Авторы статей, 2022.
© Авторы иллюстраций, 2022.

№3 (31), 2022

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Аллахвердиев С.Р. оглы, д.б.н., профессор, академик РАЕ, академик АНИРР, ФГБОУ ВО «МГПУ»; Алексеева К.Л., к.с.-х.н., ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; Архипов М.В., д.б.н., профессор ФГБНУ АФИ, зам. директора СЗЦППО; Ахмедов А.Д., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ»; Бабина Р.Д., к.с.-х.н., ФГБУН «НБС-ННЦ»; Бабицкий Л.Ф., д.т.н., профессор АБиП ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»; Баденко В.Л., д.т.н., профессор СПбПУ; Барталев С.А., д.т.н., проф., ИКИ РАН; Бастаубаева Ш.О., к.с.-х.н. Казахский НИИ земледелия и растениеводства, Боровой Е.П., д.с.-х.н., профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ»; Гербер Ю.Б., д.т.н., профессор АБиП ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского»; Егорова Н.А., д.б.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Калмыкова Е.В., д.с.-х.н., доцент, ФГБНУ «ВНИИ орошаемого земледелия»; Клименко Н.П., к.т.н., ФГБОУ ВО «КГМТУ»; Козырев А.Х., д.с.-х.н., профессор ФГБОУ ВО «Горский ГАУ»; Кудзаев А.Б., д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «Горский ГАУ»; Ларина Г.Е., д.б.н., проф., ФГБНУ «ВНИИФ»; Лупян Е.А., д.т.н., ФГБУН «ИКИ РАН»; Мельничук Т.Н., д.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Митрофанова И.В., член-корреспондент РАН, д.б.н., начальник отдела научно-инновационной и международной деятельности, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН; Мишнёв А.В., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Моисеев К.Г., к.т.н., ФГБНУ АФИ; Надыкта В.Д., д.т.н., профессор, академик РАН, вице-президент ВПРС МОББ, чл.-корр. Академии технологических наук, директор ФГБНУ ВНИИБЗР; Невкрытая Н.В., к.б.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Немтинов В.И., д.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Остапчук П.С., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Паштецкий В.С., д.с.-х.н., директор ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Плугатарь Ю.В., д.с.-х.н., директор ФГБУН «НБС-ННЦ»; Просяникова И.Б., к.б.н., Таврическая академия ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»; Серая Л.Г., к.б.н., ФГБНУ «ВНИИФ»; Сидякин А.И. к.б.н., доцент, ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского»; Скипор О.Б., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Song J., Ph.D (candidate), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; Soyong K., Dr.Ph., president of Association of Agricultural Technology in Southeast Asia, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; Соколенко О.Н., к.т.н., ФГБОУ ВО «КубГАУ им. И.Т. Трубилина»; Тарасенко В.С., д.г.-м.н., профессор, ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Терлеев В.В., д.с.-х.н., профессор СПбПУ; Тимашёва Л.А., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Тихонович И.А., д.б.н., академик РАН, директор ФГБНУ «ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии»; Ткаченко О.Б., д.б.н., ФГБУН «ГБС РАН»; Топунов А.Ф., д.б.н., профессор ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН; Турина Е.Л., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Ходяков Е.А., д.с.-х.н., профессор ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ»; Цаценко Л.В., д.б.н., профессор ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ; Чайковская Л.А., д.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Чеходариди Ф.Н., д.в.н., профессор ФГБОУ ВО «Горский ГАУ»; Шеин Е.В., д.б.н., профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова»; Шхагапсоев С.Х., д.б.н., профессор «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова».

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Бабанина С.С., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Дидович С.В., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Донник И.М., д.б.н., профессор, академик РАСХН, вице-президент РАН; Дунаева Е.А., к.т.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Мягих Е.Ф., к.б.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Овчаренко Н.С., к.б.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Паштецкий В.С., д.с.-х.н., директор ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Радченко Л.А., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма».

Научный журнал «Таврический вестник аграрной науки» (“Taurida Herald of the Agrarian Sciences”) основан в 2013 г. Официальный сайт журнала - <http://tvan.niishk.ru/>
Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций Российской Федерации: ПИ № ФС 77-67084 от 15.09.2016 г.

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (ФГБУН «НИИСХ Крыма»).

Founder – Federal State Budget Scientific Institution “Research Institute of Agriculture of Crimea”, 295493, Republic of Crimea, Smferopol, Kievskaya Str., 150.

E-mail: priemnaya@niishk.ru

Периодичность выхода научного журнала «Таврический вестник аграрной науки» - четыре раза в год. Подписной индекс - 65981

В журнале печатаются ранее не опубликованные работы проблемного, экспериментального и методического характера по важнейшим фундаментальным и прикладным направлениям биологической, сельскохозяйственной и технической науки.

С 22 марта 2018 г. журнал включен в утвержденный ВАК Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. С 5 апреля 2020 г. журнал «Таврический вестник аграрной науки» включен в ядро РИНЦ и в Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science (№674).

Тематические направления журнала:

Биологические науки 03.00.00:

03.02.00 – Общая биология

03.02.03 – Микробиология

03.02.14 – Биологические ресурсы

Сельскохозяйственные науки 06.00.00:

06.01.00 – Агрономия

06.01.01 – Общее земледелие

06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

06.01.05 – Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений

Технические науки 05.00.00:

05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем

05.20.01 – Технология и средства механизации сельского хозяйства

Согласно договору с Научной электронной библиотекой eLIBRARY.RU №708-11/2015 от 09.11.2015 г. журнал включён в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Каждой статье, опубликованной в журнале, редакция издания присваивает идентификатор цифрового объекта EDN (eLIBRARY Document Number).

Научный журнал «Таврический вестник аграрной науки» включен в международную базу данных Ulrich’s Periodicals Directory.

Материалы издания выборочно включаются в Международную систему научно-технической информации по сельскому хозяйству (AGRIS).

Russian Science
Citation Index



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



AGRIS



ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY



Google
Академия



СОДЕРЖАНИЕ

Архипов М. В., Потрахов Н. Н., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П., Щукина П. А., Рутковская Т. С., Тюкалов Ю. А. ВОЗМОЖНОСТИ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗЕРНА РАЗНОГО ЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СЕМЕНОВЕДЕНИЯ, СЕМЕНОВОДСТВА И ЗЕРНОПРОИЗВОДСТВА	8
Гущина В. А., Никольская Е. О., Лобанова Н. Ю. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ НА КОРМОЛЕКАРСТВЕННОЕ СЫРЬЕ В ЗОНЕ НЕУСТОЙЧИВОГО УВЛАЖНЕНИЯ	20
Дидович С. В., Крыжко А. В., Смаглий Н. В. ОЦЕНКА БИОТОКСИЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ	30
Дроботова Е. Н., Каширина Н. А., Невкрытая Н. В. ВИДОВОЙ СОСТАВ ВРЕДИТЕЛЕЙ НА ФЕНХЕЛЕ ОБЫКНОВЕННОМ И КОРИАНДРЕ ПОСЕВНОМ В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРЬЯ КРЫМА	43
Ледовский Е. Н., Доронин В. Г. ФУНГИЦИДЫ И БАКОВЫЕ СМЕСИ С УДОБРЕНИЯМИ В ПОСЕВАХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	56
Камбулов С. И., Божко И. В., Пархоменко Г. Г., Бабенко О. С. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ МЕЛКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ	66
Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. ГЕТЕРОЗИСНАЯ СЕЛЕКЦИЯ СОРГО-СУДАНКОВЫХ ГИБРИДОВ	75
Киселева Г. К., Ульяновская Е. В., Хохлова А. А., Караваева А. В., Схаляхо Т. В. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ ЯБЛОНИ К ЖАРЕ И ЗАСУХЕ В УСЛОВИЯХ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ	84
Кривчик Н. С., Невкрытая Н. В., Кривда С. И., Аметова Э. Д., Скипор О. Б. КОЛЛЕКЦИЯ ШАЛФЕЯ МУСКАТНОГО КАК ИСТОЧНИК ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ	93
Кротова Н. В., Баталова Г. А. КЛАСТЕРИЗАЦИЯ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ПЛЕНЧАТОГО ОВСА	106
Маслов Г. Г., Трубилин Е. И., Цыбулевский В. В., Василенко Н. Б. ФУНКЦИЯ ХАРРИНГТОНА В ИССЛЕДОВАНИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ	116
Моисеев К. Г., Терлеев В. В. ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГИДРОФИЗИКЕ ПОЧВ	125
Мурзабулатова Ф. К., Полякова Н. В., Шигапов З. Х. ДРЕВЕСНЫЕ МЕДОНОСЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ УЧАСТКА ДЛИТЕЛЬНОГО ЦВЕТЕНИЯ В УСЛОВИЯХ БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ	137

Носкова Е. Н., Козлова Л. М., Попов Ф. А., Светлакова Е. В. ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ВИДОВ УДОБРЕНИЙ НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ, ЗАСОРЕННОСТЬ ПОСЕВОВ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯЧМЕНЯ	148
Приходько А. В., Черкашина А. В., Караева Н. В. ВЛИЯНИЕ ФИТОМЕЛИОРАНТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЕМА ЮЖНОГО	159
Соболевский И. В., Москалевич В. Ю., Калафатов И. И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТЕРНЕВОГО КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ	171
Соколенко Н. И., Галушко Н. А. МНОГОЛЕТНИЕ ПШЕНИЧНО-РЖАНО-ПЫРЕЙНЫЕ ГИБРИДЫ КАК ИСТОЧНИКИ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА ЗЕРНА В СЕЛЕКЦИИ ПШЕНИЦЫ	180
Тишков Н. М., Тильба В. А., Махонин В. Л., Якубовская А. И., Каменева И. А., Шкарупа М. В. ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПОДСОЛНЕЧНИКА НА ЧЕРНОЗЁМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ	188
Шихова И. В., Арзамасова Е. Г., Попова Е. В. ОЦЕНКА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ПОСЕВНЫХ КАЧЕСТВ СЕМЯН КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ	198

CONTENTS

Arkhipov M. V., Potrakhov N. N., Priatkin N. S., Gusakova L. P., Shchukina P. A., Rutkovskaya T. S., Tyukalov Yu. A. POSSIBILITIES OF X-RAY MONITORING OF DIFFERENT-PURPOSE GRAIN TO MEET THE CHALLENGES OF SEED BREEDING, SEED PRODUCTION AND GRAIN PRODUCTION	8
Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu. CULTIVATION TECHNOLOGY ELEMENTS OF <i>ECHINACEA PURPUREA</i> FOR OBTAINING FODDER AND PHARMACEUTICAL RAW MATERIALS IN THE ZONE OF UNSTABLE HUMIDIFICATION	20
Didovich S. V., Kryzhko A. V., Smagliy N. V. ANALYSIS OF BIOTOTOXICITY OF POLYMER HYDROGELS FOR AGRICULTURAL PURPOSES	30
Drobotova E. N., Kashirina N. A., Nevkrytaya N. V. SPECIES COMPOSITION OF PESTS ON <i>FOENICULUM VULGARE</i> MILL. AND <i>CORIANDRUM SATIVUM</i> L. UNDER CONDITIONS OF THE CRIMEAN FOOTHILLS	43
Ledovsky E. N., Doronin V. G. FUNGICIDES AND THEIR TANK MIXTURES WITH FERTILIZERS IN WHEAT CROPS IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA	56
Kambulov S. I., Bozhko I. V., Parkhomenko G. G., Babenko O. S. DYNAMIC PARAMETERS OF WORKING BODY FOR SHALLOW TILLAGE	66
Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A.S. HETEROSIS BREEDING OF SORGHUM-SUDAN GRASS HYBRIDS	75
Kiseleva G. K., Ulyanovskaja E. V., Khokhlova A. A., Karavaeva A. V., Skhalyakho T. V. EVALUATION OF DROUGHT AND HEAT RESISTANCE OF APPLE TREE VARIETIES UNDER CONDITIONS OF KRASNODAR KRAI	84
Krivchik N. S., Nevkrytaya N. V., Krivda S. I., Ametova E. D., Skipor O. B. <i>SALVIA SCLAREA</i> L. COLLECTION AS A SOURCE OF INITIAL MATERIAL FOR BREEDING PURPOSES	93
Krotova N. V., Batalova G. A. CLUSTERING OF COLLECTION SAMPLES OF COVERED OATS	106
Maslov G. G., Trubilin E. I., Tsybulevsky V. V., Vasilenko N. B. THE HARRINGTON'S FUNCTION IN THE AGRICULTURAL MACHINERY RESEARCH	116
Moiseev K. G., Terleev V. V. APPLICATION OF FRACTAL SIMULATION IN SOIL HYDROPHYSICS	125
Murzabulatova F. K., Polyakova N. V., Shigapov Z. Kh. WOODY HONEY PLANTS FOR CREATING A LONG-TERM FLOWERING PLOT UNDER CONDITIONS OF THE BASHKIR CIS-URALS	137
Noskova E. N., Kozlova L. M., Popov F. A., Svetlakova E. V. Influence OF TILLAGE METHODS AND FERTILIZER TYPES ON AGROPHYSICAL PROPERTIES OF SOIL, WEED INFESTATION OF CROPS AND YIELD OF BARLEY	148

Prikhodko A. V., Cherkashyna A. V., Karaeva N. V. INFLUENCE OF PHYTOMELIORANTS ON FERTILITY INDICATORS OF CHERNOZEMS SOUTHERN	159
Sobolevsky I. V., Moskalevich V. Yu., Kalafatov I. I. DETERMINATION OF ENERGY INDICATORS OF WORKING BODIES OF STUBBLE CULTIVATOR FOR SURFACE TILLAGE	171
Sokolenko N. I., Galushko N. A. PERENNIAL WHEAT-RYE-WHEATGRASS HYBRIDS AS SOURCES OF HIGH GRAIN QUALITY IN WHEAT BREEDING	180
Tishkov N. M., Tilba V. A., Makhonin V. L., Yakubovskaya A.I., Kameneva I. A., Shkarupa M. V. EFFICIENCY OF MICROBIAL PREPARATIONS WITH POLYFUNCTIONAL ACTION IN GROWING HELIANTHUS ANNUUS L. ON CHERNOZEMS LEACHED	188
Shikhova I. V., Arzamasova E. G., Popova E. V. EVALUATION OF MORPHO-PHYSIOLOGICAL INDICATORS AND SOWING QUALITY OF <i>TRIFOLIUM PRATENSE</i> L. SEEDS AT THE EARLY STAGES OF DEVELOPMENT	198

УДК 616-073.75:633.11:633.16

EDN EVBKZX

Архипов М. В.^{1,2}, Потрахов Н. Н.³, Прияткин Н. С.¹, Гусакова Л. П.¹, Щукина П. А.¹,
Рутковская Т. С.¹, Тюкалов Ю. А.²

**ВОЗМОЖНОСТИ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗЕРНА
РАЗНОГО ЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
СЕМЕНОВЕДЕНИЯ, СЕМЕНОВОДСТВА И ЗЕРНОПРОИЗВОДСТВА**

¹ ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»;

² ФГБНУ Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН»;

³ ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

***Реферат.** Рентгенографический мониторинг скрытой поврежденности семенного материала, получаемого в условиях промышленного семеноводства, продолжает оставаться актуальной проблемой. Целью работы явилось обобщение цикла исследований по изучению особенностей возникновения скрытой поврежденности зерновки и ее влияния на интенсивность начального роста растений. Оценку внутренней поврежденности зерновки проводили методом цифровой микрофокусной рентгенографии. Объектами исследования служили образцы семян ячменя и пшеницы урожая 2017 г. Анализ образцов проводили после завершения периода послеуборочного дозревания (2019–2020 гг.). Мониторинг семян разного целевого назначения показал значительное варьирование выявленных с помощью рентгенографического метода скрытых дефектов. В исследованных партиях ячменя наблюдали следующие значения внутренней поврежденности: трещиноватых семян – от 10 до 90 %, с энзимо-микозным истощением (ЭМИС) – от 3 до 40 %, с внутренним прорастанием – от 11 до 43 %. Установлено, что доля таких типов внутренних дефектов зерновки ячменя в различных звеньях размножения (питомники размножения, суперэлита) может различаться в два–четыре раза. Показано также, что в партиях пшеницы, заложенных на ответственное хранение, содержание трещиноватых зерновок может варьировать от 3 до 30 %. Предложен параметрический паспорт зерновки, включающий в себя исходные данные о сорте, годе и месте репродуцирования семян, условиях и сроках хранения, а также морфометрические, рентгенографические и морфофизиологические показатели семян и проростков. Это позволит проводить оперативный отбор хозяйственно ценных партий семян для посева и партий зерна для хранения и переработки. Предложенный подход обеспечит возможность коррекции агротехнологий для получения семян с минимальным уровнем скрытой поврежденности и позволит использовать технологию рентгеновского мониторинга семян и зерна для контроля их качества в условиях промышленного зернопроизводства. Достоинством рентгеновского мониторинга является возможность также проводить архивирование рентгеновских снимков и использовать их в качестве документов при решении арбитражных вопросов и страховых случаев в семенном и зерновом контроле.*

***Ключевые слова:** семена, зерно, цифровая рентгенография, рентгеновский мониторинг, скрытые дефекты зерна, параметрический паспорт зерновки, хозяйственная ценность зерна.*

Для цитирования: Архипов М. В., Потрахов Н. Н., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П., Шукина П. А., Рутковская Т. С., Тюкалов Ю. А. Возможности рентгенографического мониторинга зерна разного целевого назначения для решения задач семеноведения, семеноводства и зернопроизводства // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 8–19. EDN: EVBKZX.

For citation: Arkhipov M. V., Potrakhov N. N., Priatkin N. S., Gusakova L. P., Shchukina P. A., Rutkovskaya T. S., Tyukalov Yu. A. Possibilities of X-ray monitoring of different-purpose grain to meet the challenges of seed breeding, seed production and grain production // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 8–19. EDN: EVBKZX.

Введение

Рентгенографическое и флюорографическое исследование организма человека имеет более чем 100-летнюю историю и в настоящее время используется в цифровом формате. Рентгенография семян сельскохозяйственных культур широко развивается чуть менее 50 лет и ее реализация в настоящее время нашла свое воплощение в цифровом рентгеновском стандарте, разработанном в ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (Россия, г. Санкт-Петербург) и утвержденном Росстандартом [1–3].

Системные исследования в области рентгенографии агрономических семян, начатые в 80-е гг. прошлого столетия в Агрофизическом институте (АФИ) и во Всесоюзном институте растениеводства (ВИР), позволили получить информацию об особенностях внутренних структур семени для различных видов сельскохозяйственных растений. В АФИ особое внимание уделяли выявлению скрытых повреждений у агрономических семян как в процессе их выращивания, так и в процессе уборки, сушки и послеуборочной подработки семенного вороха. В эти же годы началась разработка специализированной мягколучевой микрофокусной аппаратуры для съемки семян и зерен. В 1989 г. эта работа была удостоена Премии Совета Министров СССР в области науки и техники [1–4].

С 2002 г. и по настоящее время в Агрофизическом институте аккредитована Россельхозцентром первая в России испытательная лаборатория по рентгенографии семян АФИ, где проводят исследования в двух направлениях [5–9]:

- прецизионное изучение выявленных скрытых повреждений и аномалий семени и их связи с показателями интенсивности роста в лабораторных и полевых условиях;
- массовый анализ (досмотр) кондиционности производственных партий семян по степени их скрытой поврежденности техногенного характера и исследование влияния этого показателя на всхожесть и интенсивность стартового прорастания в различных партиях семенного материала.

Установлено, что посевные или технологические характеристики зерна связаны с показателями его структурной целостности [7–9]. Эти показатели коррелируют с особенностями как внешних, так и внутренних структур формирующих органов зерновки, влияющих на уровень ее биологической полноценности и хозяйственной пригодности. Для семян – это возможность воспроизвести полноценное, высокопродуктивное потомство, а для зерна – обеспечить полноценными питательными веществами человека и животных.

Особо следует подчеркнуть, что системные работы в области рентгеновского контроля (досмотра) зерна на различных этапах его выращивания и производства в доступной зарубежной литературе практически отсутствуют и до настоящего времени такой подход, являясь пионерным, остаётся отечественным приоритетом в мировом семеноводстве и зернопроизводстве. В зарубежной литературе имеются лишь следующие данные о связи дефектов внутренней структуры, выявленных рентгенографическим методом, с прорастанием – на семенах овощных культур –

перца и томатов [10, 11], мускусной дыни [12], семян лесных пород на примере *Platypodium elegans* Vog [13], семян кукурузы [14]. Однако в большинстве случаев авторы ограничивались небольшим спектром внутренних повреждений. Так, рентгеновские изображения семян овощных культур визуально делили на четыре категории в соответствии с площадью, занимаемой эмбрионом и эндоспермом и по отношению ее к общей площади полости во внутренней структуре семян, например, $0 < 50 \%$, $50\text{--}75 \%$ и 100% [10]. В более поздней работе семена *Platypodium elegans* Vog [13] на рентгенографических изображениях классифицировали по внутренней морфологии всего на три категории: полные, пустые и частично полные. На семенах кукурузы [14] исследовали только механические повреждения, полученные искусственным путем. Семена мускусной дыни [12] хоть и исследовали с помощью более нового и информативного метода – компьютерной томографии (КТ), но при этом образцы делили всего на два варианта – жизнеспособные и нежизнеспособные семена. В наших работах мы используем комплексный подход в исследованиях внутренних структур семени с предварительной идентификацией широкого спектра внутренних аномалий развития и повреждения, возникающих в процессе формирования семян и их уборки и послеуборочного влияния экологических и техногенных лимитирующих факторов, характерных для различных регионов страны. Не менее важной проблемой является и научное обеспечение переработки в производственных условиях, а также влияния этих повреждений на посевные качества семян при их проращивании в лабораторных и полевых условиях [2, 4, 8, 15].

Следует отметить, что уникальные возможности рентгеновского экспресс-анализа качества семян, полученных в условиях индустриального семеноводства при анализе скрытой поврежденности в партиях семян, позволили выявить следующие закономерности:

- нарушение агротехнологий в процессе промышленной уборки семян (зерна) может приводить к различной степени поврежденности семян элитных и рядовых репродукций, что необходимо учитывать при их усовершенствовании для получения партий семян с минимальным уровнем скрытой травмированности;
- ранний экспресс-досмотр партии семян (зерна) в период послеуборочного дозревания позволяет оценивать степень их хозяйственной пригодности, когда традиционные методы неприменимы [5–8].

Ближайшей задачей в области отечественного семеноводства является получение качественных семян отечественных сортов и репродукций с учетом работ по отбору партий хозяйственно значимых семян, необходимых для формирования страховых и переходящих фондов (в соответствии с Указом Президента РФ № 350 от 2016 г.). На современном этапе наиболее пригодным для этих целей является именно метод цифровой микрофокусной рентгенографии [2, 4]. Такое методическое решение позволит обеспечить перевод отечественного семеноводства и зернопроизводства на новые технологические рельсы, что повысит их конкурентоспособность на мировом зерновом рынке.

В настоящее время мониторинг количественных и качественных характеристик зерна различного целевого назначения требует получения комплексной информации о показателях структурной целостности зерна и необходимости усовершенствования физико-технического и информационного базиса управляемого земледелия.

С этой целью в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ” имени В.И. Ульянова (Ленина)» на основе многофункциональной рентгеновской установки ПРДУ (передвижная рентгеновская диагностическая установка) был усовершенствован аппаратно-программный

комплекс, обеспечивающий съемку, визуализацию и оцифровку рентгеновских изображений различных видов скрытых дефектов в партиях зерна, полученных в разные годы из различных зерносеющих регионов страны [2, 4].

Проведение рентгеновского мониторинга партий семян, полученных в различных районах Ленинградской области, позволит оценить долю семенного материала с различным уровнем и типами скрытых дефектов. Знание этих показателей позволит принимать оптимальные хозяйственные решения для отбора на посев и ответственное хранение партий зерна с минимальным уровнем скрытой травмированности.

Цель исследований – обобщение результатов цикла работ по рентгеновскому мониторингу зерна различного целевого назначения для решения задачи эффективного отбора хозяйственно ценных партий.

Материалы и методы исследований

Объектами исследования служили образцы зерна семенного назначения ячменя сортов Криничный и Суздалец, сформированные в четырех районах Ленинградской области в 2017 г., а также образцы зерна из партий пшеницы (2017 г. урожая), которые были отобраны для закладки на ответственное хранение в системе Росрезерва. Анализ образцов проводили после завершения периода послеуборочного дозревания (2019–2020 гг.). Рентгенографический мониторинг партий зерна осуществляли методом цифровой микрофокусной рентгенографии (ГОСТ Р 59603-2021) контрольных проб в четырехкратной повторности [2, 3]. Объем стандартной пробы для рентгенографии такой же, как и для определения всхожести семян по ГОСТ 12038-84 – 400 штук семян.

Съемку проводили с трехкратным увеличением изображения зерновки на передвижной рентгенодиагностической установке ПРДУ-02, разработанной ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед» (Технопарк СПбГЭТУ «ЛЭТИ»). В качестве приемника изображения использовали твердотельный плоскопанельный детектор рентгеновского излучения форматом 240 × 300 мм. С его помощью рентгеновское изображение семян выводили на экран монитора для визуального наблюдения или анализа изображений по специально разрабатываемой программе. Улучшение качества изображения, учитывая малые размеры скрытых дефектов семян, было решено за счет уменьшения фокусного пятна источника излучения и увеличения разрешающей способности детектора [2, 5, 7]. Данный комплекс (рисунок 1) позволяет проводить как прецизионные исследования структуры индивидуальной зерновки (рисунок 2), так и массовые анализы партий зерна.



Рисунок 1 – Внешний вид аппаратно-программного комплекса для рентгенографии семян

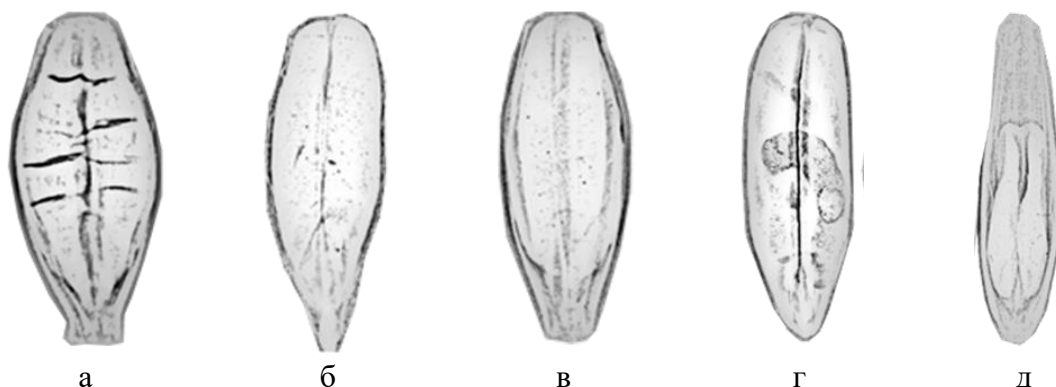


Рисунок 2 – Примеры скрытых дефектов внутренней структуры зерновки (согласно ГОСТ Р 59603-2021)

Примечание. а – трещиноватость (ячмень); б – внутреннее прорастание (рожь), в – ЭМИС (ячмень); г – скрытая зараженность насекомыми (рожь); д – щуплость (ячмень).

Вычисление статистических характеристик выборки в приведенных таблицах проводили по Б.А. Доспехову [16]. Данные представлены в виде среднего (\bar{x}) и стандартного отклонения (Δx) ($n=400$ семян для ячменя и пшеницы).

Результаты и их обсуждение

В статье представлены обобщенные экспериментальные результаты по рентгенографической оценке скрытой поврежденности семян и зерна, полученных в условиях промышленного зернопроизводства и имеющих различное целевое назначение. Эти результаты необходимы для разработки приемов отбора хозяйственно ценных партий зерна с минимальным уровнем скрытой поврежденности (таблицы 1–3).

В таблице 1 представлены результаты анализа производственных партий семян ячменя.

Таблица 1 – Результаты рентгеновского анализа семян ячменя из различных районов Ленинградской области

п/п	Семена ячменя / район формирования	Содержание семян*, %			Лабораторная всхожесть*, %
		трещиноватых	с ЭМИС	с внутренним прорастанием	
сорт Криничный					
1	Лужский	52 ± 5	12 ± 2	11 ± 2	92 ± 3
2	Ломоносовский	90 ± 4	40 ± 4	21 ± 3	86 ± 3
сорт Суздалец					
1	Киришский	29 ± 3	29 ± 3	17 ± 3	93 ± 3
2	Бокситогорский	26 ± 3	20 ± 3	11 ± 2	96 ± 3

Примечание. * Здесь и далее: данные представлены в виде доверительного интервала генеральной средней – $\bar{x} \pm t_{sx}$; ЭМИС – энзимомикозное истощение семян.

У представленных образцов выделено три типа внутренних дефектов – трещиноватость, энзимомикозное истощение семян (ЭМИС) и внутреннее прорастание. Показано, что выявленные типы варьируют, как между сортами, так и внутри сорта для семян, сформированных в разных районах. В большей степени варьирование наблюдали у сорта Криничный – до трех раз по содержанию ЭМИС и до двух – по содержанию семян трещиноватых и с внутренним прорастанием. У сорта

Суздалец варьирование этих показателей между образцами из разных районов не столь значительно.

Анализ представленных результатов позволил установить наличие связи между выявленными хозяйственно значимыми рентгеновскими признаками и уровнем лабораторной всхожести партии семян. Так, у образца под номером 2 обнаружено самое большое суммарное значение всех дефектов – 151 %, у него же выявлен и самый низкий показатель лабораторной всхожести – 86 %. У остальных образцов, имеющих всхожесть выше 90 %, то есть кондиционных согласно ГОСТ Р 52325-2005, суммарное содержание внутренних дефектов варьировало от 57 до 75 %, то есть было ниже в два–три раза.

Рассмотрим далее результаты оценки скрытой поврежденности семян ячменя сорта Суздалец из питомника размножения, высоких и рядовых репродукций, полученных в мелкоделяночных опытах (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты рентгеновского анализа семян ячменя сорта Суздалец из питомника размножения, высоких и рядовых репродукций

Звено семеноводства	Содержание семян*, %				С повреждением насекомыми
	трещиноватых	с ЭМИС	с внутренним прорастанием	недовыполненных	
Питомник размножения 1-го года	10 ± 2	8 ± 2	43 ± 4	1 ± 0,5	1 ± 0,5
Питомник размножения 2-го года	38 ± 0	5 ± 1	31 ± 3	0	0
Суперэлита	26 ± 2	3 ± 1	25 ± 2	0	0
Репродукция 1	37 ± 3	3 ± 1	22 ± 2	0	0

Из представленных данных видно, что принадлежность семян к категории семян первичных звеньев семеноводства в ряде случаев не гарантирует их более высокого качества по сравнению с репродукционными семенами. Так, максимальное количество семян с внутренним прорастанием идентифицировано у категории оригинальных семян (ОС), полученных в питомнике размножения первого года, что в 1,8 раз выше, чем у семян суперэлиты и репродукции 1 (РС₁). Только в этом образце был также обнаружен 1 % недовыполненных и поврежденных насекомыми семян. Наименьшим по сравнению с остальными образцами было только количество трещиноватых семян (в среднем в три раза меньше). Не лучшим образом показали себя семена из питомника размножения второго года – количество трещиноватых семян было на уровне семян первой репродукции, а количество семян с внутренним прорастанием было примерно в 1,3 раза больше, чем у семян рядовых репродукций. Семена суперэлиты оказались лучшего качества, чем репродукционные, только по показателю трещиноватых семян, их было примерно в 1,4 раза меньше.

Результаты рентгеновского анализа зерна пшеницы, партии которых были отобраны для закладки на ответственное хранение, представлены в таблице 3. Как видно из таблицы, в отличие от результатов, полученных на семенном материале (см. таблицы 1 и 2), степень скрытой травмированности зерна была выражена только одним признаком – трещиноватостью, показатель которой был меньше, а показатели ЭМИС и скрытого прорастания в этих вариантах отсутствовали.

Следует отметить, что наличие в зерновках трещиноватости является определенным фактором риска, так как повышается вероятность заражения семян грибной инфекцией, что может приводить к снижению их качества. В этом плане образец под номером 5, обладая наибольшим показателем трещиноватости, является

наихудшим. Поэтому необходимость рентгенографического мониторинга этого показателя не вызывает сомнений.

Таблица 3 – Результаты рентгеновского анализа образцов зерна пшеницы для длительного хранения (на момент закладки)

№ образца	Трещиноватость*, %
1	3 ± 1
2	2 ± 1
3	15 ± 2
4	14 ± 2
5	30 ± 3

Полученные ранее [5, 6, 8] и представленные выше результаты дают возможность сделать заключение о том, что при формировании страховых запасов зерна и семян рентгеновский мониторинг позволяет проводить оперативный контроль партий зерна из различных зерносеющих регионов страны и отбирать при этом на ответственное хранение зерно с минимальной долей скрытых дефектов, т.е. способное к более длительному хранению. При этом результаты анализа представляют в виде отчета по установленной форме, в котором описаны все выявленные дефекты и аномалии.

Проведение рентгеновского мониторинга позволяет архивировать проанализированные рентгеновские снимки и обеспечивает возможность предъявления их в качестве документов в спорных случаях при решении арбитражных вопросов в управляемом семеноводстве и зернопроизводстве.

Создание страховых запасов высококачественного семенного зерна делает сектор зернопроизводства более устойчивым к возможным форс-мажорным обстоятельствам, как природного, так и экономического характера.

В проведенных ранее работах [5–8] показано, что на рентгенографические показатели качества семян оказывают влияние как условия их репродуцирования, так и технологии уборки, сушки и подработки семенного материала.

Для оценки вариабельности семенного материала, учитывающего разнообразие условий выращивания и режимов его получения в производственных условиях, необходима разработка параметрического паспорта зерновки (таблица 4).

Таблица 4 – Параметрический паспорт зерновки

Параметр	Показатель	Методы определения показателей
1	2	3
Исходные данные о семенах полученной партии	Сорт, репродукция, год и место урожая, жизнеспособность семян, наличие сорных и механических примесей, тип почвы, технология выращивания, условия и сроки хранения (сортоучасток, производственный посев)	Стандартные
Морфометрические характеристики зерновки	Размеры, вес, форма, цвет	Измерения семян, сканированных и рентгеновских изображений
Рентгеновские характеристики внутренней структуры	Различные типы скрытых дефектов; цветовые (яркость) и оптические характеристики (плотность рентгеновских изображений)	ГОСТ Р 59603-2021. Качественный и количественный анализ рентгенограмм – визуальный и с помощью разработанных программ

Продолжение таблицы 4

1	2	3
Морфофизиологические (ростовые) при проращивании в лабораторных условиях	Энергия прорастания, всхожесть; размеры ростка и корня, количество корней (в оптимальных условиях и при пониженных температурах)	ГОСТ 12038-84. Методы определения всхожести. Подсчет проросших семян, линейные измерения ростка и корня

Данный паспорт включает в себя необходимую информацию о качестве семян, структурных особенностях зерновки и их связи с интенсивностью стартового прорастания и является научно-методической основой при проведении рентгенографического мониторинга партий зерна. Такой подход позволяет понять причины, приводящие к возникновению на различных этапах промышленного производства зерна внутренних структурных нарушений, которые негативно отражаются на степени его хозяйственной пригодности.

В заключение необходимо выделить перспективные направления при реализации рентгенографической технологии мониторинга семян и зерна, которые могут быть использованы для научных и практических целей (таблица 5).

Таблица 5 – Перспективы рентгенографического мониторинга семян и зерна

Прецизионные исследования	Массовый контроль качества зерна и продуктов его переработки
Оценка индивидуальных семян и партий зерна на выполненность, заселенность, зараженность и поврежденность насекомыми, поврежденность клопом - вредная черепашка, трещиноватость, внутреннее прорастание; поврежденность грибами (ЭМИС). Нормирование допустимого количества для хозяйственно значимых дефектов. Исследование образцов семян из коллекции Всесоюзного института растениеводства (ВИР) им. Н.И. Вавилова и других селекционно-семеноводческих центров.	Анализ производственных партий зерна различного целевого назначения. Исследование образцов семян и зерна при закладке на хранение в системе Росрезерва и объектах ответственного хранения зерна. Контроль качества зерна при производстве продуктов переработки (комбикорма, мука, хлебопекарные изделия, крупа, макароны, и пивоварение). Арбитражный досмотр в зерновом и семенном секторах АПК, таможенный контроль.

Таким образом, предложенная технология рентгеновского мониторинга семян и зерна, получаемых в условиях промышленного зернопроизводства, позволит:

- обеспечить семеноводство эффективным инструментом для анализа семян и зерна, входного контроля и отбора на посев и ответственное хранение кондиционных партий (включая период послеуборочного дозаривания, когда традиционные методы неприменимы);
- корректировать режимы, обеспечивающие получение высококачественных семян, конкурентоспособных на отечественном и мировом семенных рынках.

Выводы

Использование неповреждающего рентгенографического метода при анализе качества зерна позволяет повысить его оперативность и эффективность благодаря ранней оценке в период послеуборочного дозревания и выявления скрытых дефектов внутренней структуры зерновки. Правомочность такого подхода подтверждена последующим проращиванием зерна по ГОСТ 12038–84.

Подтверждено, что наличие в партиях ячменя высокой доли зерна со скрытой поврежденностью (трещиноватость, ЭМИС и скрытое прорастание), суммарный показатель которых превышает 60 %, отражает низкий уровень их хозяйственной

пригодности, что выражается в снижении всхожести зерна ниже норм, установленных ГОСТ для кондиционных зерен.

Партии зерна ячменя с минимальным суммарным уровнем скрытой дефектности (в диапазоне 20–40 %) обладают высокими посевными характеристиками в соответствии с ГОСТ. Таким образом, оперативный рентгеновский контроль партий зерна позволяет проводить их ранний отбор для семенных целей.

Литература

1. Савин В. Н., Архипов М. В., Баденко А. Л. Иоффе Ю. К., Грун Л. Б. Рентгенография для выявления внутренних повреждений и их влияние на урожайные качества семян // Вестник сельскохозяйственной науки. 1981. №10 (301). С. 99–104.
2. Архипов М. В., Гусакова Л. П., Великанов Л. П., Виличко А. К., Желудков А. Г., Алферов В. Б. Методика комплексной оценки биологической и хозяйственной пригодности семенного материала. Санкт-Петербург: АФИ, 2013. 52 с.
3. Архипов М. В., Потрахов Н. Н. Микрофокусная рентгенография растений. Санкт-Петербург: Технолит, 2008. 192 с.
4. Савин В. Н., Кондрашова М. Д., Архипов М. В. Влияние различных типов внутренних повреждений семян ячменя на их посевные качества и урожайные свойства // Доклады Российской Академии сельскохозяйственных наук. 1995. № 3. С. 5–7.
5. Архипов М. В., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П. Выявление скрытой дефектности семян зерновых культур методом микрофокусной рентгенографии // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 3(15). С. 8–14. DOI: 10.25637/GVAN.2018.03.01.
6. Прияткин Н. С., Архипов М. В., Гусакова Л. П., Потрахов Н. Н., Кропотов Г. И., Цибизов И. А., Винеров И. А. Интроскопические методы исследования качества семенного материала: состояние проблемы и перспективы использования // Агрофизика. 2018. № 2. С.29–39. DOI: 10.25695/FGRPH.2018.02.05.
7. Архипов М. В., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П., Потрахов Н. Н., Грязнов А. Ю., Бессонов В. Б., Ободовский А. В., Староверов Н. Е. Рентгеновские компьютерные методы исследования структурной целостности семян и их значение в современном семеноведении // Журнал технической физики. 2019. Т. 89. Вып. 4. С. 627–638. DOI: 10.21883/JTF.2019.04.47324.170-18.
8. Архипов М. В., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П., Щукина П. А. Связь показателей структурной целостности зерновки с реализацией ее ростового потенциала // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 2(20). С.8–16. DOI: 10.33952/2542-0720-2-22-8-16.
9. Архипов М. В. Повышение эффективности оперативного контроля при экспертной оценке качества семян и зерна // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2(26). С.19–27. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-19-27.
10. Gagliardi B., Marcos-Filho J. Relationship between germination and bell pepper seed structure assessed by the X-ray test // Scientia Agricola. 2011. Vol. 68(4). P.411–416. DOI: 10.1590/S0103-90162011000400004.
11. Bruggink H., van Duijn A. X-ray based seed analysis // Seed Testing International, ISTA News Bulletin. 2017. Vol. 153. P. 45–50.
12. Ahmed M. R., Yasmin J., Collins W., Cho B.K. X-ray CT image analysis for morphology of muskmelon seed in relation to germination // Biosyst. Eng. 2018. Vol. 175. P. 183–193. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2018.09.015.
13. Gomes K. B. P., Matos J. M. M., Martins I. S., Martins R. de C. C. X-ray test to evaluate the physiological potential of *Platypodium elegans* Vog. seeds (Fabaceae) // Scientia Agropecuaria. 2016. Vol. 7. No. 3. P. 305–311. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2016.03.19.
14. Gomes J. F. G., Cícero S. M., Vaz C. M. P., Lasso P. R. O. X-ray microtomography in comparison to radiographic analysis of mechanically damaged maize seeds and its effect on seed germination // Acta Scientiarum. Agronomy. 2019. Vol. 41(1). Art. No. e42608. DOI: 10.4025/actasciagron.v41i1.42608.
15. Гусакова Л. П. Рентгенографический и цитофотометрический анализ жизнеспособности семян сельскохозяйственных культур. Дисс...канд. биол. наук. Санкт-Петербург: Ордена Трудового Красного Знамени Агрофизический научно-исследовательский институт Российской академии сельскохозяйственных наук (АФИ РАСХН) 1997. 124 с.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Savin V. N., Arkhipov M. V., Badenko A. L., Ioffe Yu. K., Grun L. B. The röntgenography for the revealing of the internal injuries and the influence on the seed productive qualities // Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki. 1981. No. 10 (301). P. 99–104.
2. Arkhipov M. V., Gusakova L. P., Velikanov L. P., Vilichko A. K., Zheludkov A. G., Alferov V. B. Method of complex assessment of biological and economic suitability of seed material. Saint-Petersburg: AFI, 2013. 52 p.
3. Arkhipov M. V., Potrakhov N. N. Microfocus radiography of plants. Saint-Petersburg: Tekhnolit, 2008. 192 p.
4. Savin V. N., Kondrashova M. D., Arkhipov M. V. Impact of various internal damage in barley seeds on their sowing qualities and yield properties // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 1995. No. 3. P. 5–7.
5. Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Gusakova L. P. Detection of hidden defects in the seeds of grain crops by the method of microfocus X-ray // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2018. No. 3(15). P. 8–14. DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.01.
6. Priyatkin N. S., Arkhipov M. V., Gusakova L. P., Potrakhov N. N., Kropotov G. I., Tsibizov I. A., Vinerov I. A. Introsopic methods of seed quality evaluation: state of problem and prospects of realization // Agrophysica. 2018. No. 2. P. 29–39. DOI: 10.25695/AGRPH.2018.02.05.
7. Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Gusakova L. P., Potrakhov N. N., Gryaznov A. Yu., Bessonov V. B., Obodovsky A. V., Staroverov N. E. X-ray computer methods for studying the structural integrity of seeds and their importance in modern seed science // Technical Physics. 2019. Vol. 64. Iss. 4. P. 582–592. DOI: 10.1134/S1063784219040030.
8. Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Gusakova L. P., Shchukina P. A. Relationship between the indicators of structural wholeness of a caryopsis and realization its growth potential // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 2(20). P. 8–16. DOI: 10.33952/2542-0720-2-22-8-16.
9. Arkhipov M. V. Improving efficiency of operational control in the expert evaluation of grain quality // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 2(26). P. 19–27. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-19-27.
10. Gagliardi B., Marcos-Filho J. Relationship between germination and bell pepper seed structure assessed by the X-ray test // Scientia Agricola. 2011. Vol. 68(4). P. 411–416. DOI: 10.1590/S0103-90162011000400004.
11. Bruggink H., van Duijn A. X-ray based seed analysis // Seed Testing International, ISTA News Bulletin. 2017. Vol. 153. P. 45–50.
12. Ahmed M. R., Yasmin J., Collins W., Cho B. K. X-ray CT image analysis for morphology of muskmelon seed in relation to germination // Biosyst. Eng. 2018. Vol. 175. P. 183–193. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2018.09.015.
13. Gomes K. B. P., Matos J. M. M., Martins I. S., Martins R. de C. C. X-ray test to evaluate the physiological potential of *Platypodium elegans* Vog. seeds (Fabaceae) // Scientia Agropecuaria. 2016. Vol. 7. No. 3. P. 305–311. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2016.03.19.
14. Gomes J. F. G., Cícero S. M., Vaz C. M. P., Lasso P. R. O. X-ray microtomography in comparison to radiographic analysis of mechanically damaged maize seeds and its effect on seed germination // Acta Scientiarum. Agronomy. 2019. Vol. 41(1). Art. No. e42608. DOI: 10.4025/actasciagron.v41i1.42608.
15. Gusakova L. P. X-ray and cytophotometric analysis of the viability of seeds of agricultural crops. Thesis ... Cand. Sc. (Biol.). Saint-Petersburg, 1997. 124 p.
16. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.

UDC 616-073.75:633.11:633.16

Arkhipov M. V., Potrakhov N. N., Priatkin N. S., Gusakova L. P., Shchukina P. A.,
Rutkovskaya T. S., Tyukalov Yu. A.

POSSIBILITIES OF X-RAY MONITORING OF DIFFERENT-PURPOSE GRAIN TO MEET THE CHALLENGES OF SEED BREEDING, SEED PRODUCTION AND GRAIN PRODUCTION

Summary. Radiographic monitoring of hidden damage of seed material obtained in the conditions of industrial seed production continues to be an urgent problem. The aim of the work was to summarize the cycle of studies on the peculiarities of the occurrence of hidden damage of grain and its impact on the intensity of initial plant growth. The

assessment of internal damage of grain was carried out by digital microfocus radiography. The objects of the study were samples of barley and wheat seeds harvested in 2017. Samples were analyzed after the end of post-harvesting ripening (2019–2020). Monitoring of seeds of different purpose showed a significant variation of latent defects detected by the radiographic method. In the examined lots of barley, the following values of internal defects were observed: endosperm fissuring – from 10 to 90 %, enzyme mycosis depletion (EMIS) – from 3 to 40 %, internal (hidden) germination – from 11 to 43 %. It was found that the proportion of these types of internal defects of barley grain in different breeding parts (breeding nurseries, breeder seed plots (superelite in Rus.)) can differ by 2-4 times. It was also shown that the content of fissured grains in lots of wheat put into storage can vary from 3 to 30%. We offered a “parametric passport” of grains, which included initial data on the variety, year and place of seed reproduction, storage conditions and terms, as well as morphometric, radiographic and morphophysiological parameters of seeds and seedlings. This will make it possible to carry out prompt selection of economically valuable seed lots for sowing and grain lots for storage and processing. The offered approach will provide the possibility of correction of agricultural technologies to obtain seeds with a minimum level of hidden damage and will allow using the technology of X-ray monitoring of seeds and grains to control their quality in the conditions of industrial grain production. The advantage of X-ray monitoring is also the possibility to archive X-ray images and use them as documents when solving arbitration issues and insurance accidents in seed and grain control.

Keywords: *seeds, grain, digital radiography, X-ray monitoring, hidden defects of grain, parametric passport of grain, economic value of grain.*

Архипов Михаил Вадимович, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник сектора биофизики растений лаборатории экологической физиологии и биофизики растений ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; главный научный сотрудник отдела растениеводства и земледелия ФГБНУ Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН»; 196608, Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, 7; e-mail: agrorentgen@mail.ru.

Потрахов Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электронных приборов и устройств, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)»; 197376, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5; e-mail: kzhamova@gmail.com.

Прияткин Николай Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий сектором биофизики растений лаборатории экологической физиологии и биофизики растений, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: prini@mail.ru.

Гусакова Людмила Петровна, кандидат биологических наук, ведущий инженер сектора биофизики растений лаборатории экологической физиологии и биофизики растений, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: l-gusakova@mail.ru.

Щукина Полина Алексеевна, младший научный сотрудник сектора биофизики растений лаборатории экологической физиологии и биофизики растений, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: art122@bk.ru.

Рутковская Татьяна Сергеевна, соискатель, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: tatiana-ekan@yandex.ru.

Тюкалов Юрий Алексеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела растениеводства и земледелия, ФГБНУ Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное структурное подразделение ФГБУН

«Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН»; 196608, Россия, г. Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 7; e-mail: yuat@mail.ru.

Arhipov Mikhail Vadimovich, Dr. Sc. (Biol.), professor, chief researcher of the FSBSI “Agrophysical Research Institute”; 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: prini@mail.ru; chief researcher of the Department of plant growing and agriculture, FSBSI “North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance – separate division of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences”; 7, Podbelskogo road, Pushkin, Saint-Petersburg, 196608, Russia; e-mail: agrorentgen@mail.ru.

Potrakhov Nikolay Nikolaevich, Dr. Sc. (Techn.), professor, head of the Department of electronic instruments and devices, FSAEI of HE Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI” (ETU “LETI”); 5, Professora Popova str. Saint Petersburg, 197376, Russia; e-mail: kzhamova@gmail.com.

Priyatkin Nikolay Sergeevich, Cand. Sc. (Techn.), senior researcher, head of the Sector of plant biophysics, Laboratory of ecological physiology and plant biophysics, FSBSI “Agrophysical Research Institute”; 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: prini@mail.ru.

Gusakova Lyudmila Petrovna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher of the Sector of plant biophysics, Laboratory of ecological physiology and plant biophysics, FSBSI “Agrophysical Research Institute”, 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: l-gusakova@mail.ru.

Shchukina Polina Alekseevna, junior researcher of the Sector of plant biophysics, Laboratory of ecological physiology and plant biophysics, FSBSI “Agrophysical Research Institute”; 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: art122@bk.ru.

Rutkovskaya Tatyana Sergeevna, external PhD student, FSBSI “Agrophysical Research Institute”; 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: tatiana-ekan@yandex.ru.

Tyukalov Yuriy Alekseevich, Cand. Sc. (Techn.), leading researcher of Department of plant growing and agriculture, FSBSI “North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance – separate division of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences”; 7, Podbelskogo road, Pushkin, Saint-Petersburg, 196608, Russia; e-mail: yuat@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 02.06.2022.

Дата принятия к печати – 11.07.2022.

УДК 633.88
EDN DXSRFP

Гущина В. А.¹, Никольская Е. О.², Лобанова Н. Ю.¹
**ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ
НА КОРМОЛЕКАРСТВЕННОЕ СЫРЬЕ В ЗОНЕ НЕУСТОЙЧИВОГО
УВЛАЖНЕНИЯ**

¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»;

²Филиал федерального бюджетного учреждения Рослесхоза – Центр защиты леса Пензенской области

Реферат. Потенциальным регионом возделывания лекарственных растений, в том числе и эхинацеи пурпурной, является Среднее Поволжье. Эхинацея слабо конкурирует с сорняками из-за неравномерного прорастания семян и длительного срока от посева до всходов. Цель исследований заключается в разработке технологических приемов возделывания эхинацеи на фармакологическое сырье, способствующих формированию высокопродуктивных агрофитоценозов, с учетом агроклиматических условий. Схема опыта включала следующие варианты: фактор А (срок посева): подзимний, ранневесенний; фактор В (способ борьбы с сорняками): 1 – трехкратная прополка вручную (контроль); 2 – трехкратная междурядная обработка; 3 – опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит», СП (0,5 кг/га) до всходов культуры; 4 – опрыскивание посевов гербицидом «Миура», КЭ (0,6 л/га) в фазе 2–4 листьев однолетних и многолетних злаковых сорняков; 5 – опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит», СП (0,5 кг/га) до всходов культуры + опрыскивание посевов гербицидом «Миура», КЭ (0,6 л/га) в фазе 2–4 листьев однолетних и многолетних злаковых сорняков. Последствие изучаемых приемов на сырьевую продуктивность рассматривали в 2016–2018 гг. на черноземно-луговой почве опытного участка ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет». ГТК вегетационных периодов составил 0,67–1,39. Наиболее активный рост растений наблюдали при подзимнем посеве и в среднем за три года урожайность зеленой массы эхинацеи достигла 30,34 т/га, при ранневесеннем посеве она была ниже на 8,8%. Более надежная защита посевов от сорняков была при сочетании довсходового внесения «Лазурита», СП (0,5 кг/га) и обработки «Миурой», КЭ (0,6 л/га) в фазе 2–4 листьев сорных растений. При этом урожайность зеленой и воздушно-сухой массы на подзимнем посеве составила 32,24 и 9,68 т/га соответственно, на ранневесеннем она снизилась на 0,13 и 0,99 т/га.

Ключевые слова: эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* (L.) Moench), срок посева, сорная растительность, гербициды, урожайность, энергетическая эффективность.

Для цитирования: Гущина В. А., Никольская Е. О., Лобанова Н. Ю. Элементы технологии возделывания эхинацеи пурпурной на кормолекарственное сырье в зоне неустойчивого увлажнения // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 20–29. EDN: DXSRFP.

For citation: Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu. Cultivation technology elements of *Echinacea purpurea* for obtaining fodder and pharmaceutical raw materials in the zone of unstable humidification // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 20–29. EDN: DXSRFP.

Введение

После глубокого кризисного состояния лекарственного растениеводства в России, начавшегося с конца 90-х гг. XX столетия, наблюдается повышенный интерес к растениям, которые используют для производства фитопрепаратов [1, 2]. Их потребление будет расти быстрее, чем обычных химических лекарств, так как они,

обладая способностью к значительному накоплению биологически активных веществ, нашли широкое применение в народной и официальной медицине [3–6]. Проблема восстановления данной отрасли была поднята правительством РФ в конце 2016 г. в рамках реализации Проекта «Возрождение отрасли лекарственного растениеводства в РФ» направления «Превентивная медицина» Дорожной карты «ХелсНет» Национальной технологической инициативы (НТИ). В соответствии с ней к 2035 г. необходимо выращивать не менее 1 млн тонн в год лекарственного растительного сырья (ЛРС) [7]. Его промышленное производство предполагает альтернативу дикоросам, что ведёт к сохранению экологии, развитию экономики и импортозамещению [8–10].

Развитие производства лекарственного сырья является важным направлением диверсификации [11] и повышения эффективности агропромышленного комплекса региона [12], так как незаполненные ниши рынка и фактическое отсутствие конкуренции в этих его сегментах представляют значительный интерес для формирования высокоэффективного агробизнеса [11].

Среднее Поволжье относится к потенциальным регионам для возделывания многих лекарственных растений, в том числе и эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* (L.) Moench), которая стала популярной после катастрофы на Чернобыльской атомной станции в 1986 г. Её использование показало эффективность при лечении иммунодефицитов, вызванных радиационным поражением организма [13]. На территории Российской Федерации созданы опытно-промышленные плантации эхинацеи пурпурной в Московской, Самарской, Белгородской областях и в Краснодарском крае [14]. В Западной Европе изготавливают более 200 фармацевтических препаратов, рекомендованных в качестве биостимуляторов, обладающих тонизирующим, антимикробным, противовирусным и ранозаживляющим действием [15]. Для фармакологов эхинацея стала настоящей биохимической лабораторией. Трава содержит полисахариды (гетероксиланы, арабинорамногалактаны, арабиногалактан), производные кофейной кислоты (цикориевая, кафтаровая и другие конъюгаты оксикоричных кислот), флавоноиды (кверцетин, рутин, апигенин, лютеолин и др.), ненасыщенные соединения (изобутиламиды высших полинасыщенных кислот), эфирные масла (0,15–0,50 %), дубильные вещества, органические кислоты, смолы, фитостерины [16].

Климат Пензенской области умеренно-континентальный с теплым летом и довольно холодной зимой. Для успешной реализации научно-обоснованной технологии выращивания любой сельскохозяйственной культуры, в том числе и лекарственного растения эхинацеи пурпурной, необходимо изучение природных ресурсов зоны возделывания для установления её адаптационных возможностей к местным условиям.

Цель исследований – разработка технологических приемов возделывания эхинацеи пурпурной на фармакологическое сырье, способствующих формированию высокопродуктивных агрофитоценозов, в соответствии с агроклиматическими условиями области.

Материалы и методы исследований

Закладку двухфакторного опыта по определению оптимального срока посева и способа борьбы с сорной растительностью в агроценозах эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) проводили в 2014–2017 гг. по Б. А. Доспехову [17] по следующей схеме: фактор А (срок посева): подзимний и ранневесенний; фактор В – способ борьбы с сорной растительностью: 1 – трехкратная прополка вручную (контроль); 2 – трехкратная междурядная обработка; 3 – опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит», СП (0,5 кг/га) до всходов культуры; 4 – опрыскивание посевов

гербицидом «Миура», КЭ (0,6 л/га) в фазе 2–4 листьев однолетних и многолетних злаковых сорняков; 5 – опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит», СП (0,5 кг/га) до всходов культуры + опрыскивание посевов гербицидом «Миура», КЭ (0,6 л/га) в фазе 2–4 листьев однолетних и многолетних злаковых сорняков.

Повторность опыта шестикратная, размещение делянок – рендомизированное. Площадь делянок первого порядка 12,5 м², второго – 2 м². Посев эхинацеи пурпурной сорта Полесская красавица осуществляли после чистого пара на глубину 1,5–2,5 см с шириной междурядий 45 см и нормой высева 2 млн всхожих семян на 1 га. При подзимнем сроке сев был проведен 30 октября в 2014 г., 20 и 21 октября в последующие два года, ранневесенний – 30 апреля в 2015 и 2017 гг., 26 апреля – в 2016 г. Уход в год посева предусматривал послепосевное прикатывание, а далее – в соответствии со схемой опыта. Обработку гербицидами проводили ранцевым опрыскивателем вручную. Анализ влияния последствий изучаемых приемов на сырьевую продуктивность продолжался на фитоценозах второго года жизни растений эхинацеи в 2016–2018 гг. на которых проводили ранневесеннее боронование, уборку надземной массы осуществляли в июле в фазе массового цветения.

Энергетическую эффективность рассчитывали по технологическим картам с учетом применяемой технологии, фактической урожайности и зональных нормативных показателей в соответствии с методическими рекомендациями, разработанными Васиным В. Г. и др. [18], статистическую обработку результатов – по Б. А. Доспехову [17].

Почва опытного участка черноземно-луговая. Пахотный горизонт характеризуется следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 3,6–3,8 % (ГОСТ 26213-91), щелочногидролизующего азота – 77,7–81,1 мг/кг почвы (по Корнфилду), подвижного фосфора – 36,2–37,3 и обменного калия – 78,6–80,3 мг/кг почвы (ГОСТ 26204-91). Реакция среды слабокислая с рН – 5,2–5,5 (ГОСТ 26483-85).

Гидротермические условия в годы исследований варьировали по фазам развития культуры. Достаточным увлажнением характеризовались апрель и май 2016 г., когда осадков выпало в 1,4 и 2,1 раза больше нормы при температурах, превышающих среднесуточную на 2,8 и 0,7 °С, то есть сложились благоприятные условия для весеннего отрастания эхинацеи второго года жизни, где ГТК составил 0,94 (рисунок). В июне сумма выпавших осадков не превышала 40 % от нормы, а уже в июле их количество составило 108,4 мм при среднесуточной температуре 21,3 °С, превышающей норму на 1,6 °С. Такие погодные условия благоприятно отразились на формировании надземной массы.

В течение вегетационного периода 2017 г. температура воздуха была ниже среднесуточной, когда было на 2,4 °С теплее. В мае и июне эхинацея второго года жизни больше всего нуждается во влаге, так как это совпадает с начальными этапами онтогенеза. Однако осадков в этот период выпало в 1,3 раза меньше нормы при пониженных температурах (ГТК – 0,53). Июльские осадки (86 мм) снизили стресс для растений.

На следующий год, к концу цветения растений, сложились самые засушливые условия, когда гидротермический коэффициент составил 0,56. Отрастающие растения эхинацеи в мае использовали осенне-зимние запасы влаги. Поэтому недостающее количество осадков в этот период (10 мм) и высокие среднесуточные температуры, превышающие норму на 2,5 °С, не снизили интенсивность нарастания растений второго года жизни. Особенно засушливым был июнь, когда выпало только 29 % осадков от нормы. Однако двойное их количество в первой декаде июля и

соответствующее среднемноголетнему во второй декаде, позволили сформировать достаточно развитые растения эхинацеи.

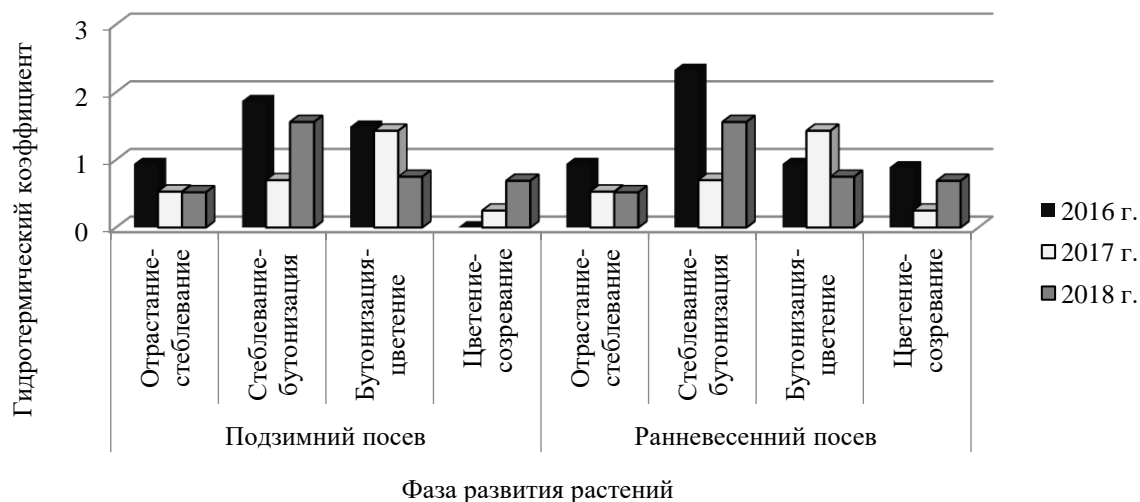


Рисунок – Гидротермический коэффициент по межфазным периодам вегетации эхинацеи пурпурной второго года жизни

Результаты и их обсуждение

Последствие сроков посева и способов борьбы с сорной растительностью сохранилось и на второй год жизни эхинацеи. Наиболее активный рост растений наблюдали при подзимнем посеве и в среднем за три года урожайность зеленой массы эхинацеи составила 30,34 т/га, на ранневесеннем посеве она на 8,8 % ниже, также, как и по выходу воздушно-сухой массы (таблица 1). Довсходовый гербицид «Лазурит» достаточно эффективно обеспечивал подавление однолетних сорняков в первый год жизни эхинацеи. На следующий год были хорошие условия для получения урожайности зеленой массы в размере 30,10 т/га, воздушно-сухой – 9,03 т/га при подзимнем посеве, 27,86 и 8,36 т/га – на ранневесеннем соответственно. В случае, когда по фону «Лазурита» применяли «Миуру», дополнительный урожай зеленой и воздушно-сухой составил 2,14; 0,65 т/га и 1,11; 0,33 т/га соответственно. Увеличение урожайности надземной массы от двукратной химической прополки в сравнении с использованием «Миуры» равно 4,58 и 1,08 т/га при первом сроке посева, 3,50 и 1,05 т/га – при втором. То есть, более надежная защита посевов эхинацеи от сорняков была при сочетании довсходового внесения «Лазурита» и обработки «Миурой» в фазе 2–4 листьев сорных растений. Таким образом, урожайность зеленой и воздушно-сухой массы была существенно больше, чем при индивидуальном использовании гербицидов.

Ручная прополка сорняков в течение вегетационного периода создавала оптимальные условия для развития эхинацеи, обеспечивая урожайность зеленой массы 28,70 т/га при ранневесеннем посеве, при подзимнем – 32,11 т/га.

Урожайность зеленой массы при трехкратной междурядной культивации при подзимнем посеве снизилась на 2,52 т/га по сравнению с ручной прополкой, при ранневесеннем посеве – на 1,43 т/га.

В процессе развития растения подвергаются влиянию различных абиотических стрессоров как временного, так и постоянного характера. К кратковременным воздействиям относится засуха. Особенно это четко проявилось в 2015 г., то есть в первый год закладки опыта. Последствие засухи (ГТК – 0,69)

отразилась на урожайности лекарственного сырья в 2016 г., когда средняя по опыту составила 28,02 т/га по зеленой и 8,41 т/га по воздушно-сухой массе, то есть на 7,8 % меньше, чем в следующем 2017 г. Этот год был более урожайным. С подзимних посевов собрали в среднем 31,82 т/га, с ранневесенних – на 3,31 т/га меньше.

В лекарственном растениеводстве важной задачей является получение не только высокого урожая сырья, но и хорошего качества. Основным показателем качества кормолекарственных растений является доля листьев и соцветий в урожае зеленой массы, так как в них содержится значительная часть всех хозяйственно полезных веществ.

Таблица 1 – Сырьевая продуктивность эхинацеи пурпурной второго года жизни, т/га

Фактор А – срок посева	Фактор В – способ борьбы с сорной растительностью	Зеленая масса				Воздушно-сухая масса			
		2016 г.	2017 г.	2018 г.	среднее	2016 г.	2017 г.	2018 г.	среднее
Подзимний	Трехкратная прополка вручную (контроль)	30,84	33,64	31,85	32,11	9,26	10,09	9,56	9,64
	Трехкратная междурядная обработка	28,41	31,00	29,35	29,59	8,64	9,30	8,81	8,92
	Опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит»	28,72	31,68	29,89	30,10	8,62	9,51	8,97	9,03
	Опрыскивание посевов гербицидом «Миура»	26,63	28,89	27,45	27,66	7,89	9,67	8,24	8,60
	«Лазурит» + «Миура»	30,95	33,88	31,89	32,24	9,29	10,17	9,57	9,68
	Среднее	29,11	31,82	30,09	30,34	8,74	9,75	9,03	9,17
Ранневесенний	Трехкратная прополка вручную (контроль)	28,27	29,05	28,78	28,70	8,48	8,72	8,64	8,61
	Трехкратная междурядная обработка	26,41	28,34	27,07	27,27	7,92	8,50	8,12	8,18
	Опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит»	26,89	28,80	27,89	27,86	8,07	8,64	8,37	8,36
	Опрыскивание посевов гербицидом «Миура»	24,73	26,63	25,06	25,47	7,42	7,99	7,52	7,64
	«Лазурит» + «Миура»	28,33	29,74	28,84	28,97	8,50	8,92	8,65	8,69
	Среднее	26,93	28,51	27,53	27,66	8,08	8,55	8,26	8,30
Среднее по способам борьбы с сорняками	Трехкратная прополка вручную (контроль)	29,56	31,35	30,32	30,41	8,87	9,41	9,10	9,13
	Трехкратная междурядная обработка	27,41	29,67	28,21	28,43	8,28	8,90	8,47	8,55
	Опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит»	27,81	30,24	28,89	28,98	8,35	9,08	8,67	8,70
	Опрыскивание посевов гербицидом «Миура»	25,68	27,76	26,26	26,57	7,66	8,83	7,88	8,12
	«Лазурит» + «Миура»	29,64	31,81	30,37	30,61	8,90	9,55	9,11	9,19
НСР ₀₅	А	0,30	0,35	0,31		0,03	0,03	0,03	
	В, АВ	0,48	0,56	0,49		0,05	0,05	0,05	
	частные различия	0,67	0,79	0,69		0,07	0,07	0,07	

В среднем по опыту за три года доля стеблей в структуре урожая составила 51,03 %, листьев – 31,06 %, остальная часть (18,07 %) приходилась на соцветия (таблица 2).

В структуре урожая подзимних посевов на стебли приходится 51,41 %, что превышает ранневесенние посевы на 0,96 %, однако облиственность была меньше на 1,16 % и составила 30,47 %. Генеративная фаза подзимних посевов наступила раньше,

что привело к увеличению соцветий до 18,13 % против 17,88 % ранневесенних. Следовательно, доля листьев и соцветий, являющихся более важным показателем сырья кормолекарственного растения, на ранневесенних посевах на 0,91 % выше, чем на посевах, проведенных под зиму.

Таблица 2 – Структура урожая зеленой массы эхинацеи пурпурной второго года жизни, % (2016–2018 гг.)

Фактор А – срок посева	Фактор В – способ борьбы с сорной растительностью	Стебли		Листья		Соцветия	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%
Подзимний	Трехкратная прополка вручную (контроль)	16,52	51,45	9,70	30,18	5,89	18,37
	Трехкратная междурядная обработка	15,17	51,28	9,10	30,74	5,32	17,98
	Опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит»	15,52	51,59	9,11	30,28	5,47	18,13
	Опрыскивание посевов гербицидом «Миура»	14,24	51,49	8,54	30,87	4,88	17,64
	«Лазурит» + «Миура»	16,51	51,22	9,76	30,26	5,97	18,52
	Среднее	15,59	51,41	9,24	30,47	5,51	18,13
Ранневесенний	Трехкратная прополка вручную (контроль)	14,31	50,61	8,49	31,14	5,45	18,25
	Трехкратная междурядная обработка	13,83	50,73	8,61	31,48	4,83	17,69
	Опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит»	14,03	50,34	8,90	31,85	4,93	17,81
	Опрыскивание посевов гербицидом «Миура»	12,77	50,13	8,29	32,53	4,41	17,34
	«Лазурит» + «Миура»	14,64	50,54	9,11	31,14	5,22	18,32
	Среднее	13,92	50,45	8,77	31,63	4,97	17,88
Среднее по способам борьбы с сорняками	Трехкратная прополка вручную (контроль)	15,42	51,03	9,32	30,66	5,67	18,31
	Трехкратная междурядная обработка	14,50	50,97	8,86	31,11	5,08	17,79
	Опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит»	14,78	50,97	9,01	31,07	5,20	17,97
	Опрыскивание посевов гербицидом «Миура»	13,51	50,81	8,42	31,70	4,65	17,49
	«Лазурит» + «Миура»	15,58	50,89	9,44	30,71	5,60	18,45
НСР ₀₅	А	0,06		0,04		0,04	
	В, АВ	0,09		0,06		0,06	
	частные различия	0,13		0,09		0,08	

На процент участия листьев в урожае, а значит и на качество лекарственного сырья способы борьбы с сорняками значительного влияния не оказали. При использовании «Лазурита» для сдерживания роста сорняков облиственность на подзимнем посеве составила 30,28 и 30,40 %. Их ингибирование «Миурой» в чистом виде привело к небольшому увеличению доли листьев (на 0,38 %) по отношению к двукратной химической прополке. От ручного удаления сорного компонента доля листьев была наименьшей 30,18 %, однако доля соцветий увеличилась до 18,37 %. Большему формированию соцветий на растении способствовала двукратная обработка посевов гербицидами, где их доля составила 18,52 %. Подобную закономерность наблюдали на ранневесенних посевах, однако доля листьев в структуре урожая превышала 31 %, а соцветий снижалась до 17,88 %.

В современных условиях из-за резкого и скачкообразного изменения цен на энергетические ресурсы, минеральные удобрения, горюче-смазочные и другие расходные материалы не всегда возможна корректная экономическая оценка изучаемых агроприемов. В этом случае выявление энергетической эффективности

изучаемых технологий преобразования солнечной энергии в продукцию агроценоза становится весьма актуальным [19].

При возделывании эхинацеи пурпурной на сырье, в среднем за три года затраты совокупной энергии в зависимости от сроков посева практически не различались. При подзимнем посеве в зависимости от способов борьбы с сорной растительностью она составила 10,35–11,28 ГДж/га, на ранневесеннем – 10,23–11,12 ГДж/га (таблица 3). Чистый энергетический доход составил 55,48 ГДж/га и 49,30 ГДж/га соответственно. Максимальным, 59,07 ГДж/га, он был при двукратном применении гербицидов, незначительное снижение на 0,77 ГДж/га отмечено на прополке вручную. Такую же тенденцию наблюдали по коэффициенту энергетической эффективности 6,47 и 6,12 при посеве поздно осенью, 5,89 и 5,59 при посеве ранней весной соответственно.

Таблица 3 – Энергетическая эффективность приемов возделывания эхинацеи пурпурной на сырье (2016–2018 гг.)

Фактор А – срок посева	Фактор В – способ борьбы с сорной растительностью	Урожайность, т/га	Совокупные затраты энергии, ГДж/га	Количество энергии в урожае, ГДж/га	Чистый энергетический доход, ГДж	Энергетический коэффициент
Подзимний	Трехкратная прополка вручную (контроль)	9,64	11,28	69,58	58,30	6,12
	Трехкратная междурядная обработка	8,92	10,76	64,38	53,62	5,98
	Опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит»	9,03	10,35	65,22	54,87	6,30
	Опрыскивание посевов гербицидом «Миура»	8,60	10,57	62,09	51,52	5,87
	«Лазурит» + «Миура»	9,68	10,80	69,87	59,07	6,47
Ранневесенний	Трехкратная прополка вручную (контроль)	8,61	11,12	62,19	51,07	5,59
	Трехкратная междурядная обработка	8,18	10,64	59,06	48,42	5,55
	Опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит»	8,36	10,23	60,36	50,13	5,90
	Опрыскивание посевов гербицидом «Миура»	7,64	10,37	55,18	44,81	5,32
	«Лазурит» + «Миура»	8,69	10,65	62,74	52,09	5,89

Выводы

Таким образом, оптимальным сроком посева эхинацеи пурпурной сорта Полесская красавица является подзимний при средней урожайности зеленой и воздушно-сухой массы 32,24 т/га и 9,68 т/га соответственно, где для борьбы с сорной растительностью использовали гербицид «Лазурит», СП (0,5 кг/га) до всходов эхинацеи с последующей прополкой гербицидом «Миура», КЭ (0,6 л/га) в фазе 2–4 листьев однолетних и многолетних злаковых сорняков. Этот вариант по сбору зеленой и воздушно-сухой массы превысил ранневесенний на 3,27 и 0,99 т/га соответственно. При этом на долю листьев и соцветий приходилось 48,78 и 49,46 % соответственно. Продуктивность агроценоза при ручном удалении сорняков не снижалась. Выход зеленой массы составил 32,11 т/га, воздушно-сухой 9,64 т/га при увеличении совокупных затрат энергии на 0,48 ГДж/га.

Литература

1. Маланкина Е. Л., Кузнецова Л. В., Козловская Л. Н., Комарова Е. Л. Использование декоративных сортов календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.) в качестве источника лекарственного растительного сырья в условиях Нечерноземной зоны России // Известия

Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012. № 2. С. 106–110.

2. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В. Использование эфирных масел в медицине, ароматерапии, ветеринарии и растениеводстве (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 1 (13). С. 18–40.

3. Бабаева Е. Ю., Зверева В. И., Семкина О. А. Содержание фруктозанов инулиноподобного типа в подземных органах эхинацеи пурпурной и продуктах их переработки // Химико-фармацевтический журнал. 2018. Т. 52. Вып. 7. С. 26–29. DOI: 10.30906/0023-1134-2018-52-7-26-29.

4. Белик Е. В., Брыкалов А. В. Исследование содержания биологически активных веществ в некоторых лекарственных растениях, их биоантиоксидантные и антимикробные свойства // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 34. С. 106–110.

5. Романова Н. Г., Шатилова Т. И., Маланкина Е. Л. Влияние регулятора роста Циркон и микроудобрения Феровит на содержание фенольных соединений в чабре садовом // Плодородие. 2019. № 3 (108). С. 17–19. DOI: 10.25680/S19948603.2019.108.05.

6. Копылова И. Е., Бабаева Е. Ю., Петрова А. Л. Накопление суммы производных оксикоричных кислот в траве эхинацеи пурпурной свежей при использовании макро- и микроудобрений // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2014. № 6. С. 16–20.

7. Козко А. А., Цицилин А. Н. Перспективы и проблемы возрождения лекарственного растениеводства в России // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2018. Т. 146. С. 18–25. DOI: 10.25684/NBG.scbook.146.2018.03.

8. Гущина В. А., Никольская Е. О., Лобанова Н. Ю. Влияние условий произрастания на продуктивность эхинацеи пурпурной в год посева // Аграрный научный журнал. 2022. № 2. С. 18–21. DOI: 10.28983/asj.y2022i2pp18-21.

9. Цицилин А. Н., Пугач Л. В. Изучение генофонда ботанического сада и коллекционных питомников филиалов ВИЛАР – один из путей ускоренной и успешной интродукции лекарственных растений // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2015. № 12. С. 14–15.

10. Зволинский В. П., Рыбашлыкова Л. П. Опыт интродукции лекарственных растений в Астраханской области // Аграрный вестник Урала. 2014. № 1 (119). С. 13–16.

11. Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu. Change in indicators of photosynthetic activity of *Echinacea purpurea* seedlings in the second year of life // Plant Archives. 2021. Vol. 21. No. 1. P. 467–472. DOI: 10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.no1.066.

12. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В., Мишнев А. В. История, современное состояние и перспективы развития эфиромасличной отрасли // Аграрный Вестник Урала. 2017. № 11 (165). С. 37–46.

13. Дейнека С. Е. Экспериментальное обоснование возможности использования настойки эхинацеи пурпурной для профилактики, обусловленной металлами экзозависимой группы // Материалы Международной научно-производственной конференции «С эхинацей в третье тысячелетие». Полтава, 2003. С. 163–167.

14. Денисенко Ю. О. Фарматехнологические исследования суппозиторий с экстракционными компонентами травы эхинацеи пурпурной и оценка норм их качества. Технология получения лекарств. Автореф. дисс. канд. фарм. наук. Пятигорск: Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал ФГБОУ «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2015. 23 с.

15. Поспелов С. В., Самородов В. Н., Поспелова А. Д. Качественная оценка сырья сортов эхинацеи селекции ПДАА // Материалы Международной научно-производственной конференции «С эхинацей в третье тысячелетие». Полтава, 2013. С. 180–185.

16. Кузык А. В., Середа А. В., Бойко В. С. Стандартизация травы эхинацеи пурпурной // Материалы Международной научно-производственной конференции «С эхинацей в третье тысячелетие». Полтава, 2003. С. 123–126.

17. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

18. Васин В. Г., Толпекин А. А., Зудилин С. Н., Зорин А. В., Кожевникова О. П. Энергетическая эффективность полевых агрофитоценозов в Среднем Поволжье: учебное пособие. Самара: ОАО «ЧИПО», 2005. 124 с.

19. Надежкина Е. В., Толочек Н. Н., Надежкин С. М. Эколого-экономическая и энергетическая оценка агроэкосистем: учебное пособие. Пенза: РИО ПГСХА, 2002. 162 с.

References

1. Malankina E. L., Kuznetsova L. V., Kozlovskaya L. N., Komarova E. L. The use of ornamental varieties of *Calendula officinalis* L. as a source of medicinal plant raw materials in the conditions of the non-chernozem zone of Russia // Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2012. No. 2. P. 106–110.

2. Pashtetskiy V. S., Nevkrytaya N. V. Use of essential oils in medicine, aromatherapy, veterinary and crop production (review) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2018. No. 1 (13). P. 18–40.
3. Babaeva E. Yu., Zvereva V. I., Semkina O. A. Inulin-like fructosan content in the below-ground organs of *Echinacea purpurea* and its processing products // Pharmaceutical Chemistry Journal. 2018. Vol. 52. No. 7. P. 623–626. DOI: 10.1007/s11094-018-1871-9.
4. Belik E. V., Brykalov A. V. Investigation of the content of biologically active substances in some medicinal plants, their bioantioxidant and antimicrobial properties // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2012. No. 34. P. 106–110.
5. Romanova N. G., Shatilova T. I., Malankina E. L. The effect of the growth regulator “Zircon” and microfertilizer “Ferovit” application on the content of phenol compounds in summer savory // Plodorodie. 2019. No. 3 (108). P. 17–19. DOI: 10.25680/S19948603.2019.108.05.
6. Kopylova I. E., Babaeva E. Yu., Petrova A. L. The accumulation amounts of derivatives hydroxycinnamic acids in *Echinacea purpurea* fresh herb from the use macro and micronutrients // Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry. 2014. No. 6. P. 16–20.
7. Kozko A. A., Tsitsilin A. N. Prospects and problems of revival of medicinal crop production in Russia // Works of the State Nikit. Botan. Gard. 2018. Vol. 146. P. 18–25. DOI: 10.25684/NBG.scbook.146.2018.03.
8. Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu. Influence of growth conditions on productivity of *Echinacea purpurea* in the year of sowing // The Agrarian Scientific Journal. 2022. No. 2. P. 18–21. DOI: 10.28983/asj.y2022i2pp18-21.
9. Tsitsilin A. N., Pugach L. V. Farmakognjstichesky studying risomes and roots *Potentilla alba* // Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry. 2015. No. 12. P. 14–15.
10. Zvolinsky V. P., Rybashlykova L.P. The experience of medicinal plants’ introduction in the Astrakhan region// Agrarian Bulletin of the Urals. 2014. No. 1 (119). P. 13–16.
11. Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu. Change in indicators of photosynthetic activity of *Echinacea purpurea* seedlings in the second year of life // Plant Archives. 2021. Vol. 21. No. 1. P. 467–472. DOI: 10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.no1.066.
12. Pashtetskiy V. S., Nevkrytaya N. V., Mishnev A.V. History, modern state and prospects of the essential oil industry development // Agrarian Bulletin of the Urals. 2017. No. 11 (165). P. 37–46.
13. Deineka S. E. Experimental substantiation of the possibility of using *Echinacea purpurea* tincture for prevention caused by metals of an eco-dependent group // Materials of the International Scientific and Industrial Conference “With Echinacea in the Third Millennium”. Poltava, 2003. P. 163–167.
14. Denisenko Yu. O. Pharmatechnological studies of suppositories with extraction components of the herb *Echinacea purpurea* and assessment of their quality standards. Technology of obtaining medicines. Author’s abstract diss. ... Cand. Sc. (Pharm). Pyatigorsk: Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute, branch of the Volgograd State Medical University, 2015. 23 p.
15. Pospelov S. V., Samorodov V. N., Pospelova A. D. Qualitative assessment of raw materials of echinacea varieties of PDAA breeding // Materials of the International Scientific and Industrial Conference “With Echinacea in the Third Millennium”. Poltava, 2013. P. 180–185.
16. Kutsik A. V., Sereda A. V., Boyko V. S. Standardization of the herb *Echinacea purpurea* // Materials of the International Scientific and Industrial Conference “With Echinacea in the Third Millennium”. Poltava, 2003. P. 123–126.
17. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
18. Vasin V. G., Tolpekin A. A., Zudilin S. N., Zorin A. V., Kozhevnikova O. P. Energy efficiency of field agrophytocenoses in the Middle Volga region: textbook. Samara: “ChIPO OAO” (Open Joint-stock Company), 2005. 124 p.
19. Nadezhkina E. V., Tolochek N. N., Nadezhkin S. M. Ecological-economic and energy assessment of agroecosystems: textbook. Penza: RIO Penza SAU, 2002. 162 p.

UDC 633.88

Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu.

CULTIVATION TECHNOLOGY ELEMENTS OF *ECHINACEA PURPUREA* FOR OBTAINING FODDER AND PHARMACEUTICAL RAW MATERIALS IN THE ZONE OF UNSTABLE HUMIDIFICATION

Summary. Middle Volga region is one of the regions where cultivation of medicinal plants, including *Echinacea purpurea*, is possible. *Echinacea* competes poorly with weeds due to uneven seed germination and extended period from sowing to germination. Therefore, the purpose of the research was to develop technological methods of echinacea

cultivation, which, on the one hand, would contribute to the obtaining pharmaceutical raw materials, and, on the other hand, to the formation of highly productive agrophytocenoses bearing in mind agro-climatic conditions. In this regard, the scheme of the experiment was presented by the listed below options: Factor A (planting date): underwinter sowing, early spring sowing; Factor B (weed control method): 1 – three-time hand weeding (control); 2 – three-time inter-row tillage; 3 – spraying soil with herbicide “Lazurit” (wetable powder) at a doze 0.5 kg/ha before the seedlings of *E. purpurea* emerge; 4 – spraying crops with herbicide “Miura”(emulsifiable concentrate) at a doze 0.6 l/ha in the phase of 2-4 leaves of annual and perennial grass-type weeds emergence; 5 – spraying soil with the herbicide “Lazurit” (wetable powder) at a doze 0.5 kg/ha before the seedlings of *E. purpurea* emerge + spraying crops with herbicide “Miura”(emulsifiable concentrate) at a doze 0.6 l/ha in the phase of 2-4 leaves of annual and perennial grass-type weeds emergence. In 2016-2018, on the experimental fields of Penza State Agrarian University, we studied the aftereffect of the mentioned techniques on *Echinacea purpurea* raw material productivity. Soil – meadow-chernozemics. Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) during the growing seasons of echinacea was 0.67–1.39. The most active plant growth was observed in the variant “underwinter sowing”. On average, over three years, the yield of green mass in this variant reached 30.34 t/ha; in “early spring sowing”, this indicator was 8.8 % less. The best weed control method – herbicide “Lazurit” (wetable powder) at a doze 0.5 kg/ha before the seedlings of *E. purpurea* emerge + herbicide “Miura” (emulsifiable concentrate) at a doze 0.6 l/ha in the phase “2-4 leaves of weeds”. In this case, the yield of green and air-dry mass in “underwinter sowing” variant was 32.24 and 9.68 t/ha, respectively; in “early spring sowing”, it decreased by 0.13 and 0.99 t/ha.

Keywords: *Echinacea purpurea* (L.) Moench, planting date, weeds, herbicides, yield, energy efficiency.

Гушина Вера Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой растениеводства и лесного хозяйства ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»; 440014, Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30; e-mail: guschina.v.a@pgau.ru.

Никольская Елена Олеговна, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель начальника отдела «Пензенская лесосеменная станция» Филиал ФБУ Рослесозащита – ЦЗЛ Пензенской области, 440014, Россия г. Пенза, ул. Spartakovskaya, 9; e-mail: nickolsk4ya@yandex.ru.

Лобанова Наталья Юрьевна аспирант кафедры растениеводства и лесного хозяйства ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»; 440014 Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30; e-mail: nu.lobanova@mail.ru.

Gushchina Vera Aleksandrovna, Dr. Sc. (Agr.), professor, head of the Department of plant growing and forestry, Penza State Agrarian University; 30, Botanicheskaya str., Penza, 440014, Russia; e-mail: guschina.v.a@pgau.ru.

Nikolskaya Elena Olegovna, Cand. Sc. (Agr.), deputy head of the Department “Penza Forest Seed Station” Branch of the Federal Budgetary Institution Roslesozashchita – Forest Protection Center of the Penza region; 9, Spartakovskaya str., Penza, 440014, Russia; e-mail: lenanik2006@rambler.ru.

Lobanova Natalia Yurievna, postgraduate student of the Department of plant growing and forestry, Penza State Agrarian University; 30, Botanicheskaya str., Penza, 440014, Russia; e-mail: nu.lobanova@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 15.04.2022.

Дата принятия к печати – 25.07.2022.

579.64:631.81
EDN FZRMYX

Дидович С. В.^{1,2}, Крыжко А. В.^{1,2}, Смаглий Н. В.^{1,2}
**ОЦЕНКА БИТОКСИЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»;
²ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. В последние годы в мировой сельскохозяйственной практике в зонах неустойчивого и недостаточного влагообеспечения активно развиваются гидрогелевое земледелие и растениеводство. Использование инновационных разработок суперабсорбентов сельскохозяйственного назначения предусматривает всестороннее изучение их экологической безопасности и эффективности применения. Цель исследований – оценить биотоксичность инновационных полимерных гидрогелевых суперабсорбентов на сельскохозяйственных растениях и микроорганизмах для использования в технологии выращивания сельскохозяйственных культур. В экспериментах использованы инновационные гидрогелевые суперабсорбенты на основе акрикловой кислоты, акрилата калия и акриламида. Проведена биодиагностика токсичности гидрогелей на горохе (*Pisum sativum* L.), пшенице (*Triticum aestivum* L.), осуществлена оценка посевных качеств семян (дружности, энергии и скорости прорастания, всхожести, биомассы проростков), исследовано их влияние на рост *Azotobacter vinelandii* и *Rhizobium leguminosarum* в сравнении с производственными гидрогелями с применением биотестирования и микробиологических методов. Установлено, что полимерные гидрофильные гидрогели на основе полиакрилатов натрия и калия, акрикловой кислоты и акриламида не содержат азотфиксирующих, фосфатмобилизующих, аммонифицирующих, нитрифицирующих, целлюлозолитических, олиготрофных микроорганизмов и микроскопических грибов. Экспериментальные синтетические полимерные гидрогели характеризовались низким индексом фитотоксичности (ИТФ) при биотесте на посевные качества семян гороха (ИТФ 0,74–0,79), не оказывали существенного влияния на посевные качества семян пшеницы (ИТФ 0,93–0,94) и были на уровне производственных суперабсорбентов на основе полиакрилатов калия и натрия (ИТФ 0,74–0,76 и 0,94–0,97). Выявлено, что экспериментальные образцы синтетических полимерных гидрогелей обладают низким индексом токсичности (ИТ) для *Azotobacter vinelandii* (ИТ 0,74–0,76) в сравнении с высокой токсичностью синтетических гидрогелей на основе акрилатов натрия и калия (ИТ 0,31–0,42), однако высокой токсичностью по отношению к *Rhizobium leguminosarum* (ИТ 0,14–0,30) в сравнении с производственными суперабсорбентами (ИТ 0,54–0,71).

Ключевые слова: гидрогели, индекс токсичности, биотест, посевные качества семян, горох, пшеница, *Azotobacter*, *Rhizobium leguminosarum*.

Для цитирования: Дидович С. В., Крыжко А. В., Смаглий Н. В. Оценка биотоксичности полимерных гидрогелей сельскохозяйственного назначения // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 30–42. EDN: FZRMYX.

For citation: Didovich S. V., Kryzhko A. V., Smaglyi N. V. Analysis of biototoxicity of polymer hydrogels for agricultural purposes // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 30–42. EDN: FZRMYX.

Введение

В последние десятилетия полимерные гидрофильные гидрогели активно внедряются в медицине, фармакологии, пищевой и химической промышленности,

сельском хозяйстве и других сферах человеческой деятельности. Их мировое производство стремительно расширяется и пополняется новыми синтезированными формами от производителей США, Китая, Германии, Канады, Индии, Японии, России и других стран. По оценкам экспертов в ближайшие пять лет можно ожидать увеличение глобального рынка гидрогелей в среднем на 4,7 % (4,6 млрд долларов США) [1].

Около 10 % от всего количества выпускаемых полимерных гидрогелей используется в мировой сельскохозяйственной практике [2] для улучшения физико-химических свойств почвы и её защиты от ветровой эрозии [3–6], повышения урожайности сельскохозяйственных культур [7–9], увеличения биодоступности минеральных [5, 10] и биологических удобрений [11].

Такой растущий интерес к применению полимерных гидрогелей в сельском хозяйстве обусловлен их уникальными свойствами – высокой абсорбцией и способностью аккумулировать огромное количество жидкости (воды, раствора) [12, 13]. Гидрофильные полимеры могут быть синтетические, натуральные, композитные с определенной степенью набухания (количеством поглощенной воды по отношению к единице массы полимера), проницаемости, диффузии, сырьевого ресурса, механической прочности, эластичности, длительности действия, биodeградации, биосовместимости, экологической безопасности [3].

Внесение в почву полимерных суперабсорбентов позволяет улучшить почвенный гидрологический потенциал, сохранить продуктивную влагу в корнеобитаемой зоне и снизить водный стресс сельскохозяйственных культур [7, 14]. Это актуально для аридных почвенно-климатических условий, где активно происходит испарение влаги из верхних слоев, иссушение почвы суховеями в период вегетации сельскохозяйственных растений и приводит к снижению продуктивности севооборотов [15, 16].

В литературе есть сведения о том, что некоторые влагоудерживающие полимерные гидрогели при использовании нетоксичны, биоразлагаемы и не нарушают микробоценоз почвы, а обеспечивают дополнительное питание для почвенных микроорганизмов [17]. Учеными из университета Махатмы Ганди (штат Керала, Индия) разработан полимерный нанокомпозитный гель для капсулирования ризобактерий/бактериальных консорциумов, стимулирующих рост и развитие растений (PGPR) [18]. В таком гидрогелем препарате жизнеспособность микроорганизмов PGPR сохранялась до 60 дней, а бактериализация им существенно улучшала структуру урожая и увеличивала зерновую продуктивность *Vigna unguiculata* L., что, по мнению авторов, позволит снизить нагрузку применения экологически небезопасных минеральных удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур. В этом направлении есть определённая перспектива.

Исследования ученых Института полимеров ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (г. Казань) по применению полиакриламида и его производных – основы суперабсорбентов отмечают токсичность и мутагенность данных соединений в определенных концентрациях на микроорганизмы и необходимость проверки в каждом конкретном случае [19]. Исходя из вышеизложенного, разработанные отечественные инновационные полимерные гидрофильные гидрогели сельскохозяйственного назначения нуждаются в научно обоснованных рекомендациях и оценках эффективности применения.

Цель исследований – оценить биотоксичность инновационных полимерных гидрогельных суперабсорбентов отечественного производства на сельскохозяйственных растениях *Pisum sativum* L., *Triticum aestivum* L. и

агрономически полезных микроорганизмах *Azotobacter vinelandii* и *Rhizobium leguminosarum* для использования в технологии выращивания сельскохозяйственных культур.

Материалы и методы исследований

В исследовании использована оригинальная разработка ученых ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» и ФГБОУ «Воронежский университет» – два синтетических образца гидрогеля – редкосшитые сополимеры акрикловой кислоты, акрилата калия (в разных модификациях) и акриламида: экспериментальный образец ГГ1 – белые кристаллы размером от 1 до 0,5 мм; экспериментальный образец ГГ2 – кристаллы с желтым оттенком размером от 1 до 0,5 мм. В качестве контроля в исследование включены два синтетических гидрогеля: ГГ3 – полиакрилат натрия порошкообразный (SAP, Германия) и ГГ4 – полиакриловый гидрогель на основе соли калия гранулированный (SAP, РФ). Все используемые в работе гидрогели являются суперабсорбентами, степень набухания (SR) гидрогелей – 500, рН после набухания 7,5 (слабощелочная среда).

Известно, что на поверхности гидрогелей могут функционировать различные микроорганизмы, в том числе и представители почвенных сообществ [20]. Исследовали полиакриламидные гидрогели на наличие микроорганизмов, которые могут при использовании суперабсорбентов попасть в почву, влиять на ее биологическую активность и продуктивность растений, а также конкурировать со штаммами полезных микроорганизмов при разработке биогельных микробных препаратов. Определяли количество микроорганизмов восьми основных экологотрофических групп на гидрогелях: аминотрофов, аммонификаторов, олиготрофов, азотфиксаторов, фосфатмобилизаторов, целлюлозолитиков, микромицетов, актиномицетов по общепринятым микробиологическим методикам путем глубинного введения суперабсорбента в количестве 0,05 г в чашки Петри с селективными агаризованными питательными средами (по 25 мл) в трех повторениях, культивируя при температуре 28 °С и наблюдая появление предполагаемых колоний микроорганизмов [21, 22].

Фитотоксичность гидрогелей оценивали методом биотестирования на тест-растениях: горохе (*Pisum sativum* L.) и пшенице (*Triticum aestivum* L.) с использованием почвы полевого стационара Севастопольского государственного университета (с. Кача, г. Севастополь). Отбор почвенных проб осуществляли согласно ГОСТ Р 58595-2019. Агрохимические показатели почвы определяли общепринятыми методами: содержание гумуса по Тюрину, подвижного фосфора (P₂O₅) и обменного калия (K₂O) по ГОСТ 26205-91, легкогидролизующего азота по ГОСТ 26213-91, показатель рН по ДСТУ 10390-2001, сумму карбонатов по ДСТУ 10693-2001. Почва – чернозем южный с содержанием 1,71 % гумуса; подвижного фосфора (P₂O₅) – 1,65 мг/100 г, обменного калия (K₂O) – 36,57 мг/100 г; легкогидролизующего азота 0,28 мг/100 г; рН почвенной вытяжки – 7,94, суммы карбонатов – 25,0 %. В чашки Петри засыпали по 50 г почвы с 0,05 г гидрогелей и покрывали 50 г стерильного песка, на поверхности которого раскладывали семена пшеницы сорта Багира и гороха сорта Девиз (урожай 2021 г.). Влажность субстрата довели до 20%. Посевные качества семян определяли согласно ГОСТ 12038-84. Повторность опыта четырехкратная. Контролем были варианты без внесения полимерных гидрогелей и с производственными гидрогелями ГГ3 и ГГ4. Индекс фитотоксичности (ИТФ) определяли по итогам тестирования каждой тест-культуры по формуле [23, 28]:

$$\text{ИТФ} = \text{TФ}_0 / \text{TФ}_к,$$

где TФ₀ – среднее значение показателя в опыте; TФ_к – среднее значение этого же регистрируемого показателя в контроле.

Среднее значение индекса токсичности для каждого гидрогеля рассчитывали по формуле: $ИТФ\text{ }CP = (ИТФ_1 + ИТФ_2 \dots) / n$, где ИТФ₁, ИТФ₂, и т.д. – индексы токсичности, рассчитанные для каждого показателя посевных качеств семян, n – количество показателей. Для оценки фитотоксичности использовали шкалу токсичности почв в модификации Багдасаряна А.С. (таблица 1) [24].

Таблица 1 – Шкала токсичности почв в модификации Багдасаряна А.С.

Класс токсичности	Величина ИТФ	Пояснения
VI (стимуляция)		
– значительная	>1,60	Фактор оказывает стимулирующее действие на тест-объект
– выраженная	1,50–1,60	Величина тест-функции в опыте превышает контрольное значение
– заметная	1,50	
– средняя	1,11–1,40	
– слабая	1,10	
V (норма)	0,91–1,10	Фактор не оказывает существенного влияния на развитие тест-объектов. Величина тест-функций находится на уровне контроля
IV (низкая)	0,71–0,90	Разная степень снижения величины тест функций в опыте по сравнению с контролем
III (средняя)	0,50–0,70	
II (высокая)	<0,50 (ниже индекса LD ₅₀ , принятого в токсикологии)	
I (сверхвысокая, вызывающая гибель тест-объекта)	Среда не пригодна для жизни тест-объекта	Наблюдается гибель тест-объектов

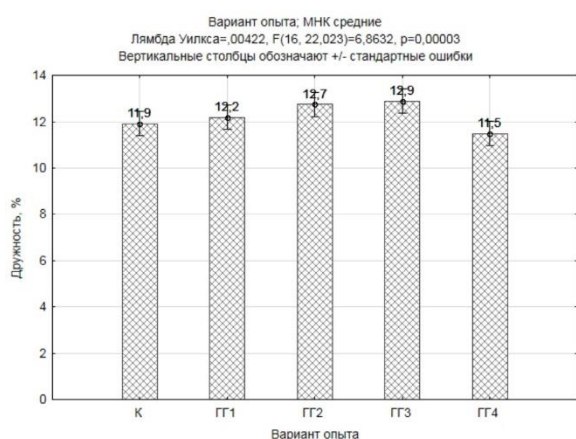
Свободноживущие микроорганизмы рода *Azotobacter* используют в качестве тест-микроорганизмов для оценки токсичности почв [25]. Клубеньковые бактерии используются для предпосевной бактеризации семян бобовых культур. Высокоэффективные селекционные штаммы представителей данных микроорганизмов являются основой биоудобрительных микробных препаратов. Кроме того, коллекционные штаммы могут быть использованы для разработки удобрительных препаратов на гидрогелевых носителях. Биотест на токсичность полимерных гидрогелей проводили путем высева на среду Эшби штамма *Azotobacter vinelandii* и на гороховую агаризованную среду штамма *Rhizobium leguminosarum* из Крымской коллекции микроорганизмов [26]. Бактериальную водную суспензию трехсуточных культур штаммов с исходным титром $2,0\text{--}2,4 \times 10^9$ колониеобразующих единиц (КОЕ)/мл вносили по 0,1 мл из четвертого–восьмого последовательных разведений в чашки Петри с 25 мл агаризованной среды и 0,05 г гидрогеля (ГГ1 и ГГ2) в вариантах опыта, в контрольных вариантах с производственными суперабсорбентами (ГГ3 и ГГ4) и без гидрогеля в трех повторениях. Культивировали при температуре 28 °С в течение трех суток. Обилие роста бактерий учитывали по количеству КОЕ [27] и рассчитывали индекс токсичности по формуле, предложенной Кабириным Р. Р. с соавторами [28] в модификации Багдасаряна А.С. [24]. Результаты исследования анализировали с помощью программы Statistica_10.

Результаты и их обсуждение

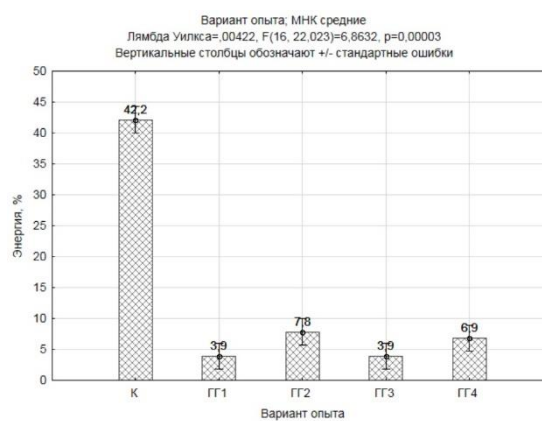
При определении функциональных особенностей микробиоты гидрогелей установлено отсутствие микроорганизмов, отвечающих за трансформацию минеральных и органических азотных соединений, что не может повлиять на интенсивность минерализационных процессов в почве. Не выявлены

азотфиксирующие и фосфатмобилизующие микроорганизмы, участвующие в круговороте азота и фосфора в агроэкосистемах, обеспечивающие растения доступными формами соответствующих элементов питания. Не обнаружено целлюлозолитических микроорганизмов, участвующих в синтезе и минерализации гумуса, разложении органических остатков. Отсутствуют микроскопические грибы, представители которых способны стимулировать рост и развитие растений, а некоторые виды являются одной из основных причин развития микробной фитотоксичности и почвоутомления в агроэкосистемах. Не выявлены олиготрофные микроорганизмы, использующие низкие концентрации мономеров, образуемых другими микроорганизмами и участвующие в образовании продуктов распада органики с низким соотношением C/N. Таким образом, исследуемые гидрогели не содержали микроорганизмов основных эколого-трофических групп, являющихся чувствительным индикатором в агроэкосистемах и определяющих эффективность растительно-микробного взаимодействия, биологическую активность и плодородие почв.

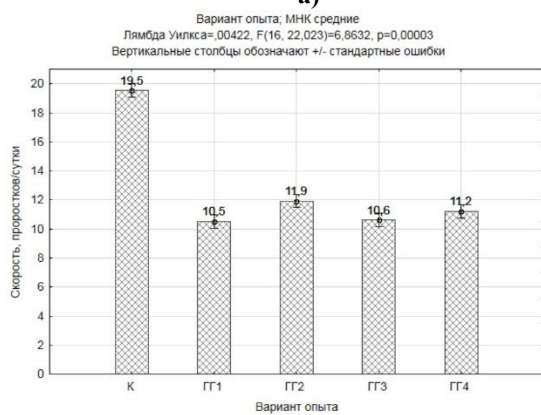
Установлено, что использование гидрогелей при проращивании гороха не влияло на дружность прорастания семян (рисунок 1 а), однако снижало в 5,4–10,8 раз их энергию (рисунок 1 б), скорость прорастания в 1,6–1,9 раза в сравнении с контролем (рисунок 1 в). При этом гидрогели не снижали всхожесть (рисунок 1 г) и биомассу проростков (рисунок 1 д) в сравнении с контролем – данные показатели были в пределах ошибки опыта ($p < 0,05$).



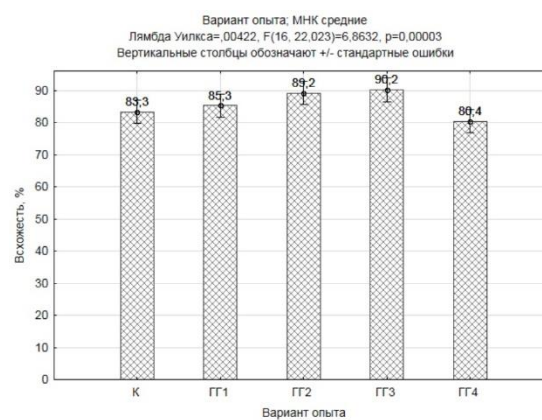
а)



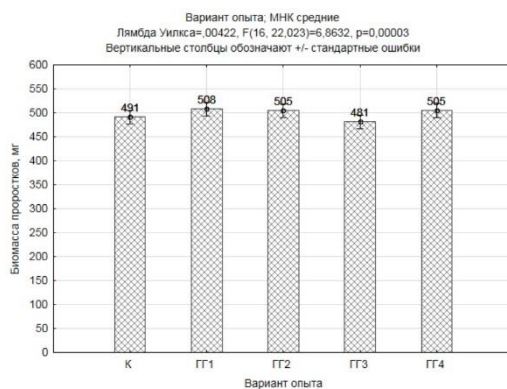
б)



в)



г)

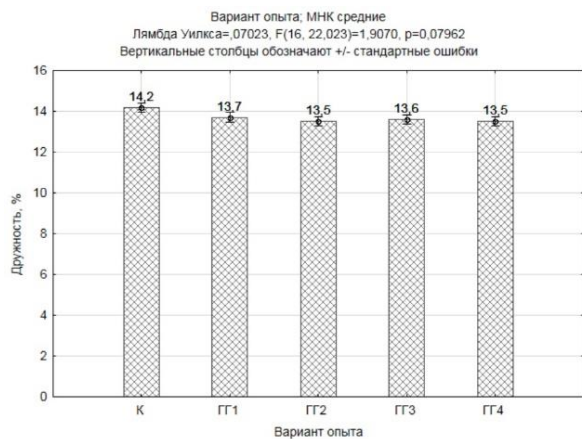


д)

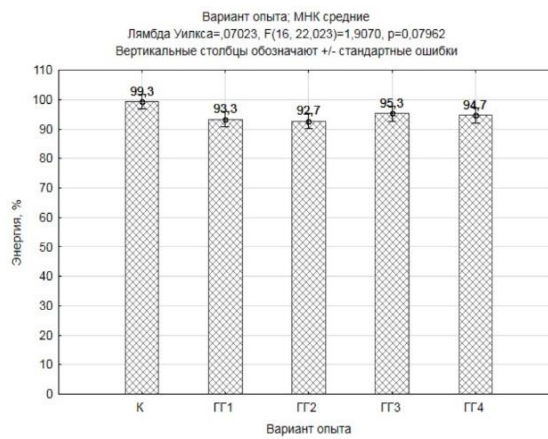
Рисунок 1 – Влияние гидрогелей на посевные качества семян гороха
а) дружность, б) энергию, в) скорость прорастания, г) всхожесть, д)
биомассу проростков (лабораторный опыт)

Примечания здесь и далее: ГГ1, ГГ2 – экспериментальные образцы синтетического суперабсорбента с акриловой кислотой, акрилатом калия (в разных модификациях) и акриламидом, ГГ3 – полиакрилат натрия порошкообразный (SAP, Германия), ГГ4 – полиакриловый суперабсорбент на основе соли калия гранулированный (SAP, РФ).

Оценивая влияние гидрогелей на посевные качества семян пшеницы, выявили достоверное снижение дружности семян на 0,5–0,7 % (рисунок 2 а), энергии прорастания на 3,0–6,6 % (рисунок 2 б), скорости прорастания на 2,0–2,9 проростков/сутки (рисунок 2 в), всхожести семян на 3,3–4,6 % (рисунок 2 г) по сравнению с контролем без внесения гидрогеля. На биомассу проростков существенно повлияло внесение гидрогелей ГГ1, ГГ2, ГГ3 и снизило данный показатель на 13–18 мг в сравнении с контролем без гидрогеля (рисунок 2 д) ($p < 0,05$).



а)



б)

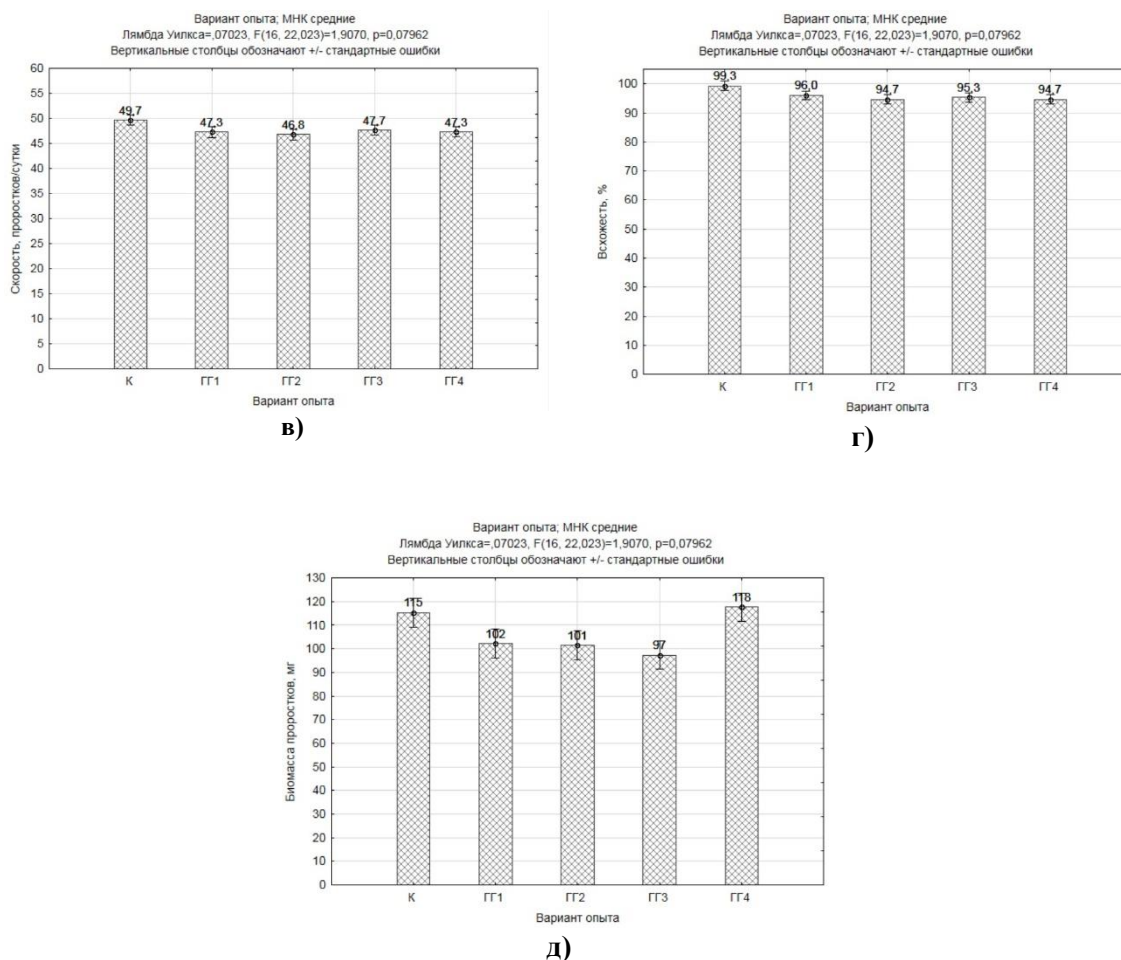


Рисунок 2 – Влияние гидрогелей на посевные качества семян пшеницы: а) дружность, б) энергию, в) скорость прорастания, г) всхожесть, д) биомассу проростков (лабораторный опыт)

Установлено, что изучаемые гидрогели характеризовались в среднем низким классом токсичности при биотесте на горохе (ИТФ 0,74–0,79), не оказывали существенного фитотоксичного влияния на посевные качества пшеницы (ИТФ 0,93–0,97) (таблица 2). Кроме того, фитотоксичность экспериментальных гидрогельных образцов (ГГ1, ГГ2) была на уровне производимых суперабсорбентов (ГГ3, ГГ4), что в целом позволяет сделать заключение о возможности их применения для влагообеспечения при выращивании растений.

Таблица 2 – Среднее значение индекса токсичности по посевным качествам семян биотеста на горохе и пшенице (лабораторный опыт)

Вариант опыта	Величина ИФТ (биотест на горохе)	Величина ИФТ (биотест на пшенице)
Контроль	–	–
ГГ1	0,74	0,94
ГГ2	0,79	0,93
ГГ3	0,76	0,94
ГГ4	0,74	0,97

Оценивали токсичность полимерных гидрогелей на тест-объекте – штамме *Azotobacter vinelandii*. Установлено, что все гидрогели угнетали рост азотобактера, снижая количество КОЕ в 1,3–3,2 раза (рисунок 3). Высокую токсичность по данному

показателю проявили производственные полиакриловые гидрогели на основе полиакрилата натрия (ГГ3, ИТ 0,31) и полиакрилата калия (ГГ4, ИТ 0,42), которая была в три раза выше, чем в контроле без гидрогеля. Низким индексом токсичности обладали экспериментальные образцы синтетических абсорбентов на основе акриловой кислоты, акрилата калия (в разных модификациях) и акриламида (ГГ1, ИТ 0,74; ГГ2, ИТ 0,76).

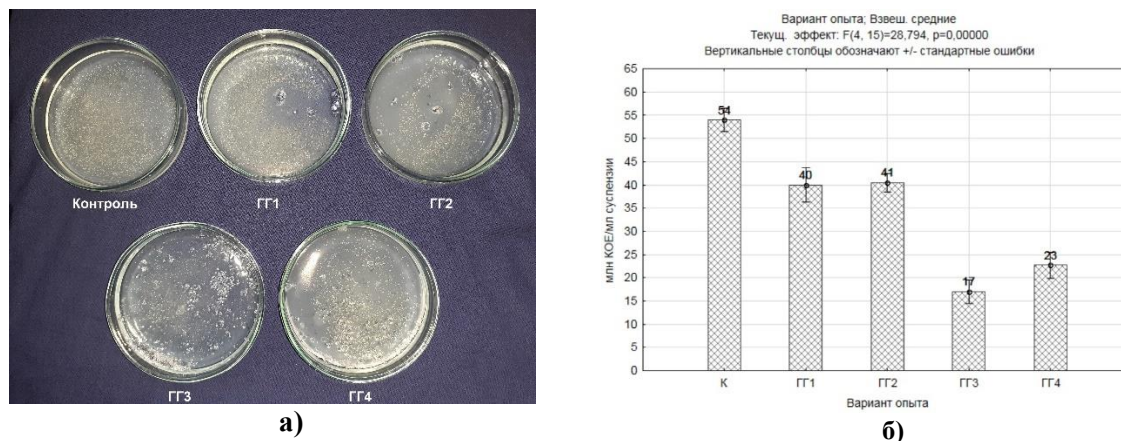


Рисунок 3 – Влияние полимерных гидрогелей на рост колоний штамма *Azotobacter vinelandii*: а) зоны угнетения – области без колоний (5-е разведение), б) влияние гидрогелей на количество колониеобразующих единиц

Установлено, что экспериментальные гидрогели (ГГ1, ГГ2) достоверно угнетали рост колоний производственного штамма *Rhizobium leguminosarum* в 3,4–7,4 раза, производственные гидрогели (ГГ3, ГГ4) снижали рост в 1,4–1,9 раза в сравнении с контролем без использования суперабсорбентов ($p < 0,05$) (рисунок 4).

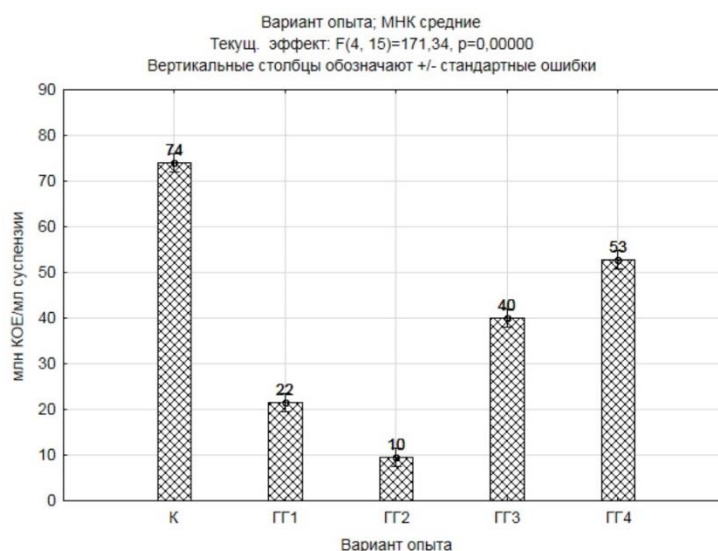


Рисунок 4 – Влияние полимерных гидрогелей на рост колоний штамма *Rhizobium leguminosarum*

Биотестирование гидрогельных суперабсорбентов на штамме *Rhizobium leguminosarum* показало высокую токсичность экспериментальных гидрогелей (ГГ1,

ИТ 0,30; ГГ2, ИТ 0,14) по сравнению со средней токсичностью контроля: гидрогеля на основе полиакрилата натрия (ГГ3, ИТ 0,54) и низкой калиевого полиакрилатного гидрогеля (ГГ4, ИТ 0,71).

Таким образом, показано, что применение экспериментальных образцов суперабсорбентов негативно влияет на рост клубеньковых бактерий гороха при посеве на питательную селективную среду и является токсичным для данного производственного активного симбиотического азотфиксатора.

Выводы

Установлено, что синтетические гидрофильные гидрогели на основе полиакрилатов калия и натрия не содержат азотфиксирующих, фосфатмобилизирующих, аммонифицирующих, нитрифицирующих, целлюлозолитических, олиготрофных бактерий, микроскопических грибов основных функциональных эколого-трофических групп микроорганизмов. Показано, что экспериментальные синтетические полимерные гидрогели на основе акриловой кислоты, акрилата калия и акриламида обладают низким классом токсичности при биотесте посевных качеств семян гороха (ИТФ – 0,74–0,79), не токсичны при биотесте посевных качеств семян пшеницы (ИТФ – 0,93–0,94) и обладали низким индексом токсичности для *Azotobacter vinelandii* (ИТ – 0,74–0,76). Выявлено, что экспериментальные гидрогели характеризовались высокой токсичностью по отношению к штамму симбиотического азотфиксатора *Rhizobium leguminosarum* (ИТ – 0,14–0,30) в сравнении с производственными суперабсорбентами (ИТ – 0,54–0,71).

Исследование выполнено при финансовой поддержке программы «Приоритет-2030» Севастопольского Государственного Университета (стратегический проект №3, №121121700318-1).

Литература

1. Li S., Chen G. Agricultural waste-derived superabsorbent hydrogels: preparation, performance, and socioeconomic impacts // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 251. Art. No. 119669. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119669.
2. Global Hydrogels Market Report 2022: Market to Reach \$16.7 Billion by 2027 - Innovations Expand Addressable Market for Hydrogels. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.18734008-62976392-f172fee874722d776562/https/www.yahoo.com/now/global-hydrogels-market-report-2022-122300669.html (дата обращения 30.05.2022).
3. Behera S., Mahanwar P. Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: a review // Polymer-Plastics Technology and Materials. 2019. No. 59 (6). P. 1–16. DOI: 10.1080/25740881.2019.1647239.
4. Рабаданов Р. Г. Абсорбционные свойства сильнонабухающих полимерных гидрогелей, используемых в сельском хозяйстве // Аграрная Россия. 2017. № 6. С. 2–7. DOI: 10.30906/1999-5636-2017-6-15-18.
5. Rizwan M., Gilani S. R., Durani A. I., Naseem S. Materials diversity of hydrogel: synthesis, polymerization process and soil conditioning properties in agricultural field // Journal of Advanced Research. 2021. No. 33. P. 15–40. DOI: 10.1016/j.jare.2021.03.007.
6. Наумов П. В., Щербакова Л. Ф., Околелова А. А. Оптимизация влагообеспеченности почв с помощью полимерных гидрогелей // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 4 (24). С. 77–81.
7. Ревенко В. Ю., Агафонов О. М. Использование гидрогелей в растениеводстве // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 11–2. С. 59–65. DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10193.
8. Бейбулатов М. Р., Ярошук И. Э. Эффект от применения абсорбента при посадке винограда // Виноградарство и виноделие. 2012. Т. XLII. С. 31–33.
9. Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Манохина А. А. Возделывание картофеля с использованием влагосберегающих полимеров // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский Государственный Агроинженерный Университет имени В.П. Горячкина». 2015. № 1. С. 15–18.

10. Guilherme M. R., Aouada F. A., Fajardo A. R., Martins A. F., Paulino A. T., Davi M. F.T., Rubira A. F., Muniz E. C. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: a review // *European Polymer Journal*. 2015. Vol. 72. P. 365–385. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2015.04.017.
11. Mehrotra T., Zaman M. N., Prasad B. B., Shukla A., Aggarwal S., Singh R. Rapid immobilization of viable *Bacillus pseudomycolides* in polyvinyl alcohol/glutaraldehyde hydrogel for biological treatment of municipal wastewater // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27. Iss. 9. P. 9167–9180. DOI: 10.1007/s11356-019-07296-z.
12. Ahmed E. M. Hydrogel: preparation, characterization, and applications: a review // *Journal of Advanced Research*. 2015. Vol. 6(2). P. 105–121. DOI: 10.1016/j.jare.2013.07.006.
13. Mignon A., De Belie N., Dubruel P., Van Vlierbergh S. Superabsorbent polymers: a review on the characteristics and applications of synthetic, polysaccharide-based, semi-synthetic and 'smart' derivatives // *European Polymer Journal*. 2019. Vol. 117. P. 165–178. DOI: 10.1016/J.EURPOLYMJ.2019.04.054.
14. Кузнецов А. Ю. Влияние полимерной мелиорации на свойства чернозема выщелоченного, тепличного почвогрунта и урожайность сельскохозяйственных культур. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2003. 25 с.
15. Ревенко В. Ю., Зайцев Р. Н. Изменение влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в восточной зоне Краснодарского края // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2016. № 5 (88). Ч. 6. С. 9–12.
16. Данилова Т. Н. Влияние гидрогелей на показатели структуры урожая зерновых культур в условиях модельной почвенной засухи «Засушник» и в полевых условиях // *Известия СПбГАУ*. 2021. № 3. (64). С. 31–39. DOI: 10.24412/2078-1318-2021-3-31-39.
17. Максимова Ю. Г., Максимов А. Ю., Демаков В. А., Будников В. И. Влияние гидрогелей полиакриламида на микрофлору почвы // *Вестник Пермского университета. Серия «Биология»*. 2010. № 1 (1). С. 45–49.
18. Snigdha S., Kalarikkal N., Thomas S., Radhakrishnan E. K. Laponite clay/poly (ethylene oxide) gel beads for delivery of plant growth-promoting rhizobacteria // *Bulletin of Materials Science*. 2021. Vol. 44. Iss. 2. DOI: 10.1007/s12034-021-02383-9.
19. Кулагина Е. М., Юсупова Р. И., Потапова М. А. Исследование модифицированного полиакриламида на токсичность и мутагенную активность // *Вестник технологического университета*. 2015. Т. 18. № 14. С. 42–44.
20. Максимова Ю. Г., Горшкова А. А., Демаков В. А. Биодegradация полиакриламидов почвенной микрофлорой и штаммами амидозосодержащих бактерий // *Вестник Пермского университета. Биология*. 2017. Вып. 2. С. 200–204.
21. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. М.: Дрофа, 2005. 254 с.
22. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: монографія // *Наук. ред. Волкогон В. В. Київ: Аграрна наука*, 2010. 464 с.
23. Прусаченко А. В., Проценко Е. П., Миронов С. Ю., Клеева Н. А., Гриненко И. А., Галас А. В. Фитотестирование в оценке токсичности городских почв // *Экология урбанизированных территорий*. 2010. № 2. С. 105–109.
24. Багдасарян А. С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов: Автореф. дис... канд. биол. наук. Ставрополь: Ставропольский государственный университет, 2005. 25 с.
25. Практикум по агроэкологии: Учебное пособие // Под ред. Орловой Е. Е. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2011. 148 с.
26. Портал биоресурсных коллекций. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.biores.cytogen.ru/> (дата обращения 15.03.2021).
27. Терещенко Н. Н., Акимова Е. Е., Минаева О. М. Современные методы оценки микробиологических свойств и экологического состояния почв. Справочник. Томск: изд-во ТГУ, 2017. 147 с.
28. Кабиров Р. Р., Хазипова Р. Х. Альгологический метод оценки токсичности ПАВ // *Биоиндикация и биомониторинг*. М.: Наука, 1991. С. 282–285.

References

1. Li S., Chen G. Agricultural waste-derived superabsorbent hydrogels: preparation, performance, and socioeconomic impacts // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 251. Art. No. 119669. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119669.
2. Global Hydrogels Market Report 2022: Market to Reach \$16.7 Billion by 2027 - Innovations Expand Addressable Market for Hydrogels. [Electronic resource]. Access point: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.18734008-62976392-

f172fee874722d776562/https/www.yahoo.com /now/global-hydrogels-market-report-2022-122300669.html (reference's date 30.05.2022).

3. Behera S., Mahanwar P. Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: a review // Polymer-Plastics Technology and Materials. 2019. No. 59 (6). P. 1–16. DOI: 10.1080/25740881.2019.1647239.
4. Rabadanov R. G. Absorption properties of highly swelling polymeric hydrogels used in agriculture // Agrarnaya Rossiya (Agrarian Russia). 2017. No. 6. P. 2–7. DOI: 10.30906/1999-5636-2017-6-15-18.
5. Rizwan M., Gilani S. R., Durani A. I., Naseem S. Materials diversity of hydrogel: synthesis, polymerization process and soil conditioning properties in agricultural field // Journal of Advanced Research. 2021. No. 33. P. 15–40. DOI: 10.1016/j.jare.2021.03.007.
6. Naumov P. V., Shcherbakova L. F., Okolelova A. A. Optimization of soil moisture availability using polymer hydrogels // Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2011. No. 4 (24). P. 77–81.
7. Revenko V. Yu., Agafonov O. M. The use of hydrogels in crop production // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2018. No. 11–2. P. 59–65. DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10193.
8. Beybulatov M. R., Yaroshchuk I. E. The effect of applying adsorbents during the establishment of a vineyard // Viticulture and Winemaking. 2012. Vol. XLII. P. 31–33.
9. Starovoitov V. I., Starovoitova O. A., Manokhina A. A. Cultivation of potatoes using moisture saving polymers // Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education “Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin”. 2015. No. 1. P. 15–18.
10. Guilherme M. R., Aouada F. A., Fajardo A. R., Martins A. F., Paulino A. T., Davi M. F.T., Rubira A. F., Muniz E. C. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: a review // European Polymer Journal. 2015. Vol. 72. P. 365–385. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2015.04.017.
11. Mehrotra T., Zaman M. N., Prasad B. B., Shukla A., Aggarwal S., Singh R. Rapid immobilization of viable *Bacillus pseudomycolides* in polyvinyl alcohol/glutaraldehyde hydrogel for biological treatment of municipal wastewater // Environmental Science and Pollution Research. 2020. Vol. 27. Iss. 9. P. 9167–9180. DOI: 10.1007/s11356-019-07296-z.
12. Ahmed E.M. Hydrogel: preparation, characterization, and applications: a review // Journal of Advanced Research. 2015. Vol. 6(2). P. 105–121. DOI: 10.1016/j.jare.2013.07.006.
13. Mignon A., De Belie N., Dubruel P., Van Vlierberghe S. Superabsorbent polymers: a review on the characteristics and applications of synthetic, polysaccharide-based, semi-synthetic and ‘smart’ derivatives // European Polymer Journal. 2019. Vol. 117. P. 165–178. DOI: 10.1016/J.EURPOLYJM.2019.04.054.
14. Kuznetsov A. Yu. Influence of polymer reclamation on the properties of leached chernozem, greenhouse soil and crop yields. Author’s abstract diss. ... Cand. Sc. (Agr.). Penza: Penza State Agricultural Academy, 2003. 25 p.
15. Revenko V. Yu. Zaitsev R. N. Change of moisture availability of agricultural crops in the eastern zone of Krasnodar Kray // Actual problems of humanities and natural sciences. 2016. No. 5 (88). P. 6. P. 9–12.
16. Danilova T. N. Influence of hydrogels on indicators of the harvest structure of grain crops under model soil dry “dryer” and in field conditions // Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2021. No. 3. (64). P. 31–39. DOI: 10.24412/2078-1318-2021-3-31-39.
17. Maksimova Yu. G., Maksimov A. Yu., Demakov V. A., Budnikov V. I. The influence of polyacrylamide gels on soil microflora // Bulletin of Perm University. Biology. 2010. No. 1 (1). P. 45–49.
18. Snigdha S., Kalarikkal N., Thomas S., Radhakrishnan E. K. Laponite® clay/poly(ethylene oxide) gel beads for delivery of plant growth-promoting rhizobacteria // Bulletin of Materials Science. 2021. Vol. 44. Iss. 2. DOI:10.1007/s12034-021-02383-9.
19. Kulagina E.M., Yusupova R.I., Potapova M.A. Study of modified polyacrylamide for toxicity and mutagenic activity // Bulletin of the Technological University. 2015. Vol. 18. No. 14. P. 42–44.
20. Maksimova Yu. G., Gorshkova A. A., Demakov V. A. Polyacrylamide biodegradation by soil microflora and bacteria containing amidase // Bulletin of Perm University. Biology. 2017. Iss. 2. P. 200–204.
21. Tepper E. Z., Shilnikova V. K., Pereverzeva G. I. Practical work on microbiology. Moscow: Drofa, 2005. 254 p.
22. Experimental soil microbiology: monograph // Sci. ed. Volkogon V. V. Kiev: Agrarna nauka, 2010. 446 p.
23. Prusachenko A.V., Protsenko E.P., Mironov S.Yu., Kleeva N.A., Grinenko I.A., Galyas A.V. Phytoassay of the urban soil toxicity // Ecology of Urban Areas. 2010. No. 2. P. 105–109.
24. Bagdasaryan A. S. Biotesting of soils of technogenic zones of urban territories using plant organisms. Author’s abstract diss. ... Cand. Sc. (Biol.). Stavropol: Stavropol State University, 2005. 25 p.

25. Workshop on agroecology: Textbook / Edited by Orlova E.E. St. Petersburg: St. Petersburg. University Publ., 2011. 148 p.
26. Portal of bioresource collections. [Electronic Resource]. Assess point: <http://www.biores.cytogen.ru/> (reference's date 15.03.2021).
27. Tereshchenko N. N., Akimova E. E., Minaeva O. M. Modern methods of assessment of microbiological properties and ecological state of soils. Guide. Tomsk: Tomsk State University Publ., 2017. 147 p.
28. Kabirov R. R., Khazipova R. Kh. Algological method for assessing the toxicity of surfactants // Bioindication and biomonitoring. Moscow: Nauka, 1991. P. 282–285.

UDC 579.64:631.81

Didovich S. V., Kryzhko A. V., Smaglyi N. V.

ANALYSIS OF BIOTOTOXICITY OF POLYMER HYDROGELS FOR AGRICULTURAL PURPOSES

Summary. *In recent years, hydrogel agriculture and crop production have been actively developing worldwide in areas of unstable and insufficient moisture supply. The use of superabsorbents – innovative developments of for agricultural purposes requires comprehensive study of their environmental safety and efficiency. The aim of our research was to evaluate the innovative polymer hydrogel superabsorbents' toxicity by biotesting on agricultural plants and microorganisms for further using in crop cultivation technology. Innovative hydrogel superabsorbents based on acrylic acid, potassium acrylate and acrylamide were used in experiments. We carried out the biodiagnostics of hydrogel toxicity on *Pisum sativum* L. and *Triticum aestivum* L. and assessed their impact on sowing qualities of seeds (uniform emergence, germination energy, emergence rate, germination ability (viability) and seedlings biomass), studied their influence on *Azotobacter vinelandii* and *Rhizobium leguminosarum* growth and compared them to production hydrogels using biotesting and microbiological methods. Synthetic polymer hydrophilic hydrogels based on sodium and potassium polyacrylates, acrylic acid and acrylamide contain neither nitrogen-fixing, phosphate mobilizing, ammonifying, nitrifying, cellulolytic or oligotrophic microorganisms nor microscopic fungi. Experimental synthetic polymer hydrogels were characterized by a low index of phytotoxicity (ITF) during biotest on the sowing qualities of pea seeds (ITF 0.74–0.79), did not significantly affect the sowing qualities of wheat seeds (ITF 0.93–0.94) and were at the level of industrial superabsorbents based on potassium and sodium polyacrylates (ITF 0.74–0.76 and 0.94–0.97). Experimental synthetic polymer hydrogels had a low toxicity index (IT) for *Azotobacter vinelandii* (IT 0.74–0.76) in comparison with the high toxicity of synthetic hydrogels based on sodium and potassium acrylates (IT 0.31–0.42). However, experimental hydrogels were highly toxic to *Rhizobium leguminosarum* (IT 0.14–0.30) when compared to industrial superabsorbents (IT 0.54–0.71).*

Keywords: *hydrogels, toxicity index, biotest, seed sowing qualities, *Pisum sativum* L., *Triticum aestivum* L., *Azotobacter vinelandii*, *Rhizobium leguminosarum*.*

Дидович Светлана Витальевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Биоресурсный потенциал приморских территорий», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»; 299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, 33; ведущий научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: svalex.68@mail.ru.

Крыжко Анастасия Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Биоресурсный потенциал приморских территорий», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»; 299053, Россия, г.

Севастополь, ул. Университетская, 33; ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, протеомики и биоинформатики в сельском хозяйстве, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: kryzhko_a@niishk.ru.

Смаглий Наталья Владимировна, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Биоресурсный потенциал приморских территорий», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»; 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33; лаборант-исследователь лаборатории молекулярной генетики, протеомики и биоинформатики в сельском хозяйстве, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453. Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: scarletsun7991@mail.ru.

Didovich Svetlana Vital'evna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Research laboratory “Bioresource potential of the primorsky territories”, FSAEI HE “Sevastopol State University”; 33, Universitetskaya str., Sevastopol, 299053, Russia; leading researcher of the Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: sv-alex.68@mail.ru.

Kryzhko Anastasiia Vladimirovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Research laboratory “Bioresource potential of the primorsky territories”, FSAEI HE “Sevastopol State University”; 33, Universitetskaya str., Sevastopol, 299053, Russia; leading researcher of Laboratory of molecular genetics, proteomics and bioinformatics in agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: kryzhko_a@niishk.ru.

Smagliy Natalia Nikolaevna, junior researcher of the Research laboratory “Bioresource potential of the primorsky territories”, FSAEI HE “Sevastopol State University”; 33, Universitetskaya str., Sevastopol, 299053, Russia; laboratory assistant of Laboratory of molecular genetics, proteomics and bioinformatics in agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: scarletsun7991@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 10.06.2022.

Дата принятия к печати – 11.07.2022.

УДК 637.75
EDN HASFKK

Дроботова Е. Н., Каширина Н. А., Невкрытая Н. В.
**ВИДОВОЙ СОСТАВ ВРЕДИТЕЛЕЙ НА ФЕНХЕЛЕ ОБЫКНОВЕННОМ И
КОРИАНДРЕ ПОСЕВНОМ В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРЬЯ КРЫМА**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Цель исследования – выявление в условиях Предгорья Крыма доминантных и наиболее опасных видов фитофагов эфиромасличных культур семейства Сельдерейные *Ariaceae* – кориандра посевного *Coriandrum sativum* L. и фенхеля обыкновенного *Foeniculum vulgare* Mill. для определения оптимальных мер их контроля и профилактики. Учитывая то, что климатические условия полуострова претерпевают изменения, актуальным является изучение видового разнообразия вредных организмов в современных условиях для разработки комплекса мероприятий, направленных на контроль их развития и снижение воздействия на возделываемые культуры. Исследования проводили в 2019–2021 гг. на экспериментальном участке ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (с. Крымская Роза, Белогорский район, Республики Крым). Климат региона умеренно-континентальный с мягкой зимой и теплым засушливым летом. Анализ видового и количественного состава вредителей выполняли с марта по октябрь с интервалом в 10–15 дней (10–13 учетов) в питомниках размножения ПР1 фенхеля обыкновенного сорта Мэрцишор и кориандра посевного сорта Силач. На фенхеле обыкновенном зафиксировано развитие 15 членистоногих вредителей, относящихся к одному классу, шести отрядам девяти семействам, а на кориандре посевном – 13 видов, относящихся одному классу, шести отрядам девяти семействам. Выделено семь видов фитофагов, встречающихся на обеих культурах. Наиболее распространенные (80–90 %) вредители – цикадки *Cicadellidae* Latreille (три вида). Высокой, 80–90 % на фенхеле и 60–80 % на кориандре, была распространенность тли *Aphidoidea* Latreille, отнесенной к группе доминантов для обеих культур. Проанализировано 75 образцов коллекции фенхеля обыкновенного и 163 образца коллекции кориандра посевного. Самый ощутимый вред в коллекции фенхеля наносили огнёвки-травянки *Crambidae* Latreille, цикадки *Cicadellidae* Latreille и пенницы *Aphrophoridae* Amyot & Serville, вызывавшие среднее (у 2, 4 и 15 % образцов) и слабое (у 44, 60 и 20 % образцов) поражение растений. Наиболее вредоносными, вызывавшими повреждения разной степени у растений 20–35 % образцов коллекции кориандра, были тли *Aphidoidea* Latreille, злаковые моли-минёры *Elachistidae* Bruand и эвритомид *Eurytomidae* Latreille.

Ключевые слова: эфиромасличные культуры, *Foeniculum vulgare* Mill., *Coriandrum sativum* L., вредители, доминанты, фитофаги, степень вредоносности.

Для цитирования: Дроботова Е. Н., Каширина Н. А., Невкрытая Н. В. Видовой состав вредителей на фенхеле обыкновенном и кориандре посевном в условиях Предгорья Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 43–55. EDN: HASFKK.

For citation: Drobotova E. N., Kashirina N. A., Nevkrytaya N. V. Species composition of pests on *Foeniculum vulgare* Mill. and *Coriandrum sativum* L. under conditions of the Crimean Foothills // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 43–55. EDN: HASFKK.

Введение

Среди большого разнообразия растительного мира особый интерес для изучения представляют лекарственные и эфиромасличные культуры, сырье и продукты переработки которых широко используют в парфюмерно-косметическом, пищевом, фармацевтическом производствах, медицине [1]. Благодаря повышенному спросу на препараты натурального состава, существенно возрос интерес к растениям, содержащим эфирные масла и другие биологически активные соединения [2].

Потребительский спрос на качественное растительное сырье ежегодно возрастает [3]. Однако возделывание эфиромасличных культур сопряжено с рядом проблем, связанных не только с особенностями выращивания, но и с защитой от вредных организмов. Видовой комплекс фитофагов культивируемых эфиромасличных культур изучен недостаточно. Систематических и целенаправленных исследований по изучению вредных объектов на большинстве культур не проводили, что существенно затрудняет разработку биологической защиты. В то же время убытки, наносимые членистоногими вредителями в эфиромасличном растениеводстве, складывающиеся из потерь урожая и снижения качества продукции, весьма ощутимы [4–6].

В научной литературе имеются отрывочные сведения по изучению вредных организмов на эфиромасличных и лекарственных культурах в различных регионах мира и на территории Российской Федерации. Так, в статьях Мельникова Г.В. с соавторами представлены данные по изучению видового состава вредителей лекарственных культур в условиях Среднего Поволжья [5]. В научных работах Дмитриевой Л.Ф. описаны вредители лекарственных культур в Прииссыкулье и обоснованы меры борьбы с ними [7]. Догадина М.А. и Тухтаев Е.А. изучали видовой состав вредителей лекарственных культур в условиях Центрально-Черноземного района (на примере Орловской области) [8]. Тимофеева В.П. с соавторами изучали болезни и вредителей лекарственных растений в Беларуси [9]. В Крыму изучение вредителей эфиромасличных культур проводили в Институте эфиромасличных и лекарственных растений. В частности, исследованиями на иссопе лекарственном и плантациях мяты занимался Чумак В.А. [10–12].

Проведенный нами мониторинг на наличие вредителей ряда эфиромасличных культур (кориандр посевной, мята, роза эфиромасличная, шалфей мускатный и лаванда узколистная) в ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (НИИСХ Крыма) показал, что наиболее распространенными многоядными фитофагами являлись тля, цикадки, клопы, паутиный клещ [13]. Однако для каждой культуры в отдельности узкоспециализированные вредные объекты проанализированы не были. Недостаточно информации о степени их вредоносности, распространенности, методах биологической борьбы с ними, данных по изучению биологических препаратов в производстве лекарственного и эфиромасличного сырья нет [14–16].

Почвенно-климатические условия Крыма являются благоприятными для роста и развития многих эфиромасличных растений [16–19]. Однако неотъемлемым условием получения высокого урожая и качественной продукции является защита растений от вредных организмов, предполагающая знание видового состава, мер профилактики и снижения численности вредных организмов [20–21]. Учитывая то, что климатические условия полуострова претерпевают изменения, актуальным является изучение видового разнообразия вредных организмов в современных условиях для разработки комплекса мероприятий, направленных на контроль их развития и снижение воздействия на возделываемые культуры [6, 15, 18].

Одной из наиболее распространенных эфиромасличных культур, широко востребованных на мировом и отечественном рынке, является кориандр посевной *Coriandrum sativum* L. [22, 23]. Это однолетнее травянистое растение с прямостоячим стеблем, высотой от 40 до 70 см, разветвлённым в верхней части. В плодах кориандра содержится эфирное масло (до 1,5 % и более), основным компонентом которого является линалоол (60–80 %), также оно содержит до 20 % жирного масла. Растения и плоды кориандра, а также продукты их переработки используют в медицине, кулинарии, парфюмерии, косметологии, мыловарении [24, 25].

Распространенной эфиромасличной, пряноароматической и лекарственной культурой также является фенхель обыкновенный *Foeniculum vulgare* Mill. [22, 23]. Это многолетнее травянистое растение высотой до 2 м. Эфирное масло получают из всего растения, однако более ценным по компонентному составу является масло из плодов, содержащееся в количестве от 3,5 до 10 % [26]. Основным его компонентом является анетол. Эфирное масло фенхеля обыкновенного применяют в парфюмерно-косметическом, фармацевтическом, мыловаренном производствах, медицине, ветеринарии [27–29].

Цель исследований – выявление в условиях Предгорной зоны Крыма доминантных и наиболее опасных видов членистоногих фитофагов основных эфиромасличных культур семейства Сельдерейные *Ariaceae* – кориандра посевного *Coriandrum sativum* L. и фенхеля обыкновенного *Foeniculum vulgare* Mill. для определения оптимальных мер их контроля и профилактики.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2019–2021 гг. на экспериментальных участках и коллекциях отдела эфиромасличных и лекарственных культур НИИСХ Крыма (с. Крымская Роза, Белогорский район, Республика Крым). Климат в районе исследований умеренно континентальный, характеризуется мягкой зимой и теплым засушливым летом [17, 18].

Энтомологические исследования проведены в питомниках размножения ПР1 фенхеля обыкновенного сорта Мэрцишор (0,08 га) и кориандра посевного сорта Силач (0,05 га). Защитные мероприятия на данных участках не проводили.

Учет количественных показателей (распространенность, заселенность и степень поврежденности) вредителей выполняли на протяжении всей вегетации растений с интервалом в 10–20 дней. На фенхеле обыкновенном выполнено 13 учетов в период с третьей декады марта по первую декаду октября, на кориандре посевном – 10 учётов период с третьей декады апреля по третью декаду сентября. В ходе каждого обследования осматривали по 10 подряд растущих растений в 10-ти рандомизированных повторениях в соответствии с методическими рекомендациями [30–32]. Отобранную пробу с каждого растения отдельно помещали в полиэтиленовый пакет, маркируя его. Анализ срезанных (растений) побегов проводили в лабораторных условиях при помощи бинокуляра МБС-10, подсчитывая количество вредителей. Показателем численности является среднее количество объектов учёта на 10 см длины побега. Видовую принадлежность фитофагов устанавливали с помощью определителей [14, 33, 34].

Благоприятный температурный режим на протяжении 2019–2021 гг. способствовал активному развитию и распространению членистоногих вредителей на всех исследуемых культурах (рисунок 1). Температурный режим в период активной вегетации с апреля по август в годы проведения исследований, как правило, был близок к среднегодовым показателям. Наибольшие отклонения от нормы – до +4,1 °С отмечены в июне 2019 г.

Количество осадков в 2019–2021 гг. по месяцам распределено неравномерно. Весенний период, как правило, был засушливым (исключение – май 2020 г.), а летний – дождливым (рисунок 2). Наибольшее количество осадков отмечено в июне. Самым дождливым был июнь 2020 г. (147,2 % от нормы). Более стабильным месяцем во все годы исследований и в сравнении со среднемноголетними данными являлся июль.

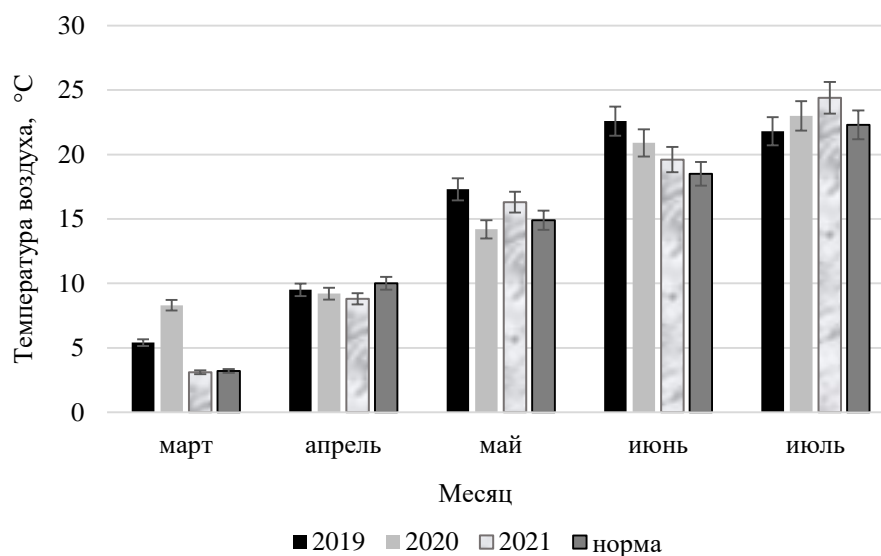


Рисунок 1 – Среднемесячная температура воздуха в период активного питания фитофагов

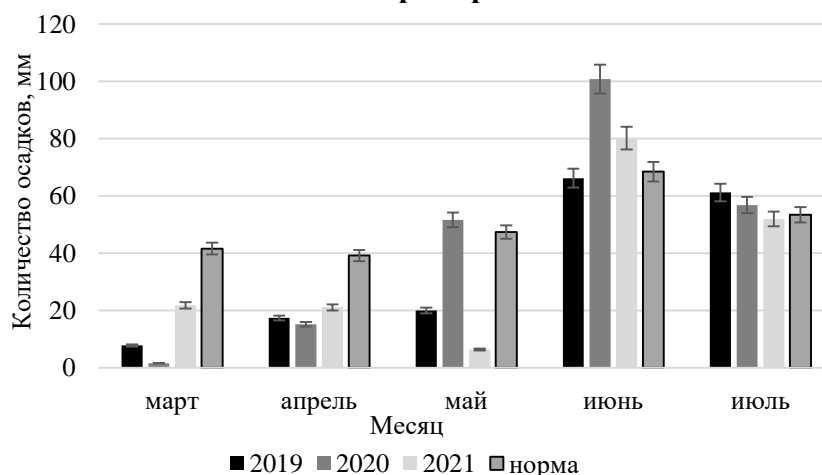


Рисунок 2 – Среднемесячное количество осадков в период активного питания фитофагов

В целом, погодные условия в годы исследований были благоприятными для развития вредных организмов.

Результаты и их обсуждение

Оценка видового состава комплекса фитофагов фенхеля обыкновенного проведена в питомнике размножения ПР1 сорта Мэрцишор. По результатам регулярных обследований в период всей вегетации растений зафиксировано развитие 15 видов членистоногих вредителей, относящихся к одному классу, шести отрядам, девяти семействам (таблица 1).

Наблюдения по оценке видового состава комплекса фитофагов на кориандре посевном проведены в питомнике размножения ПР1 сорта Силач. Выявлено наличие

на растениях 13 видов фитофагов, относящихся к одному классу, пяти отрядам, девяти семействам.

Результаты проведенных исследований показали, что в видовом составе вредителей ведущая роль принадлежит многоядным фитофагам, а также узкоспециализированным видам, распространенным в данной зоне. Выделено семь видов фитофагов, относящихся к пяти родам, встречающиеся на обеих культурах. Выявлены вредители, которые были обнаружены только на одном из видов растений. Шесть видов вредителей отмечены только на фенхеле и пять – только на кориандре, в том числе узкоспециализированный кориандровый семяед *Systole coriandri* Gus.

Таблица 1– Видовой состав и таксономическая структура комплекса фитофагов фенхеля обыкновенного и кориандра посевного (2019–2021 гг.)

Русское (латинское) название вида	Семейство
Вредители, обнаруженные на кориандре посевном и фенхеле обыкновенном	
Тип членистоногие Arthropoda	
Класс насекомые Insecta	
Полужесткокрылые Hemiptera или членистохоботные Rhynchotha	
Подотряд шешихоботные Auchenorrhyncha или цикадовые Cicadinea	
Желтоватая цикадка (<i>Empoasca flavescens</i> F.)	Цикадки <i>Cicadellidae</i> Latreille
Зелёная цикадка (<i>Cicadella viridis</i> L.)	
Пенница слюнявая (<i>Philaenus spumarius</i> L.)	Пенницы <i>Aphrophoridae</i> Amyot & Serville
Подотряд клопы или разнокрылые Heteroptera	
Клоп луговой (<i>Lygus pratensis</i> L.)	Настоящие щитники <i>Pentatomidae</i> Leach
Графозома полосатая (<i>Graphosoma lineatum</i> L.)	
Чешуекрылые Lepidoptera	
Луговой мотылек (<i>Loxostege sticticalis</i> L.)	Огнёвки-травянки <i>Crambidae</i> Latreille
Озимая совка (<i>Agrotis segetum</i> D.)	Совки <i>Noctuidae</i> Latreille
Вредители, обнаруженные только на фенхеле обыкновенном	
Подотряд шешихоботные Auchenorrhyncha или цикадовые Cicadinea	
Пестрая цикадка (<i>Eurpteryx atropunctata</i> Goeze)	Цикадки <i>Cicadellidae</i> Latreille
Церкопис краснопятнистый (<i>Cercopis sanguinea</i> Geoffr.)	Церкопиды <i>Cercopidae</i> Leach
Подотряд грудохоботные Sternorrhyncha	
Зелёная персиковая тля (<i>Myzodes persicae</i> Sulz.)	Тли <i>Aphidoidea</i> Latreille
Подотряд клопы или разнокрылые Heteroptera	
Щитник зелёный (<i>Palomena prasina</i> L.)	Настоящие щитники <i>Pentatomidae</i> Leach
Отряд Трипсы (Бахромчатокрылые) Thysanoptera (Physapoda)	
Пшеничный трипс (<i>Haplothrips tritici</i> Kurdjumov)	Крупные трипсы <i>Phlaeothripidae</i> Uzel
Жесткокрылые Coleoptera	
Долгоносик-стеблелес свекловичный (<i>Bothynoderes spunctiventris</i> Germar)	Долгоносики <i>Curculionidae</i> Latreille
Чешуекрылые Lepidoptera	
Совка-гамма (<i>Autographa gamma</i> L.)	Совки <i>Noctuidae</i> Latreille
Капустна ясовка (<i>Mamestra brassicae</i> L.)	
Вредители, обнаруженные только на кориандре посевном	
Подотряд грудохоботные Sternorrhyncha	
Свекловичная тля (<i>Aphis fabae</i> Scopoli.)	Тли <i>Aphidoidea</i> Latreille
Люцерновая тля (<i>Aphis craccivora</i> Koch.)	
Подотряд клопы или разнокрылые Heteroptera	
Слепняк светлый зонтичный (<i>Orthops campestris</i> L.)	Слепняки <i>Miridae</i> Hahn
Отряд Перепончатокрылые Hymenoptera	
Кориандровый семяед (<i>Systole coriandri</i> Gus.)	Эвритомид <i>Eurytomidae</i> Latreille
Чешуекрылые Lepidoptera	
Зонтичная моль (<i>Depressaria depressana</i> Fabricius)	Злаковые моли-минёры <i>Elachistidae</i> Bruand

Наиболее распространен на обеих культурах комплекс цикадок Cicadellidae Latreille (три вида). Их распространенность составляла 80–90 % во все годы исследований. Высокой, в пределах 80–90 % на фенхеле и 60–80 % на кориандре, была и распространенность тли Aphidoidea Latreille (таблица 2).

Значительный вред растениям наносил и комплекс чешуекрылых (два вида). Распространенность огнёвок-травянок Crambidae Latreille на фенхеле обыкновенном достигала 60–70 %, на кориандре посевном – 50–80 %. Значительный вред растениям фенхеля наносили и совки Noctuidae Latreille. Степень вредоносности этих видов вредителей в отдельные годы достигала одного-двух баллов (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Средние показатели количества вредителей на фенхеле обыкновенном и кориандре посевном

Вредитель	Распространенность, %			Заселенность, шт./раст.			Степень поврежденности, балл		
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
фенхель обыкновенный									
Цикадки <i>Cicadellidae</i> Latreille	90	90	90	11	15	14	1	1	1
Пенницы <i>Aphrophoridae</i> Amyot & Serville	70	60	80	5	3	2	1	0-1	1
Церкопиды <i>Cercopidae</i> Leach	40	20	10	1	1	1	1	1	1
Тли <i>Aphidoidea</i> Latreille	90	80	90	15	14	17	1	1	1
Настоящие щитники <i>Pentatomidae</i> Leach	10	30	20	4	3	2	0-1	1	0-1
Крупные трипсы <i>Phlaeothripidae</i> Uzel	30	40	40	7	5	8	1	1	1
Долгоносики <i>Curculionidae</i> Latreille	20	10	10	2	3	1	1	1	1
Огнёвки-травянки <i>Crambidae</i> Latreille	70	60	70	2	3	2	1-2	1	1-2
Совки <i>Noctuidae</i> Latreille	10	10	10	1	1	1	1	1-2	1
кориандр посевной									
Цикадки <i>Cicadellidae</i> Latreille	80	90	90	12	17	14	0-1	1	1
Пенницы <i>Aphrophoridae</i> Amyot & Serville	40	30	30	1	2	1	1	0-1	0-1
Тли <i>Aphidoidea</i> Latreille	60	80	70	11	18	19	1	1	1
Настоящие щитники <i>Pentatomidae</i> Leach	70	80	80	1	4	1	0-1	0-1	0-1
Слепняки <i>Miridae</i> Hahn	30	30	20	1	1	1	0-1	1	0-1
Эвритомид <i>Eurytomidae</i> Latreille	60	60	70	1	1	1	1	1	1
Огнёвки-травянки <i>Crambidae</i> Latreille	50	80	70	1	1	1	1-2	1	1-2
Совки <i>Noctuidae</i> Latreille	30	20	20	1	1	1	1	1	1-2
Злаковые моли-минёры <i>Elachistidae</i> Bruand	70	60	60	2	1	2	1	1-2	1-2

Кроме перечисленных вредителей на кориандре посевном отмечена высокая распространенность (70–80 %) настоящих щитников и злаковых молей-минёров (60–70 %). Степень их вредоносности в отдельные годы достигала двух баллов.

Следует отметить, что в период исследований средний показатель распространенности вредителей по годам варьировал незначительно, поскольку погодные условия 2019–2021 гг. были благоприятными для распространения членистоногих фитофагов.

Определяя индекс частоты встречаемости и рассматривая вредителей, общих для обоих видов растений, следует отметить высокую распространенность цикадок (80–92 %) и огнёвок-травянок (80–85 %) (таблица 3).

Самыми распространенными видами вредителей за весь период исследований на фенхеле обыкновенном были церкопиды (92 %) и настоящие щитники (100 %).

Таблица 3 – Характеристика индексов частоты встречаемости и доминирования членистоногих вредителей фенхеля обыкновенного и кориандра посевного (2019–2021 гг.)

Вредители	Распространенность, %	Индекс частоты встречаемости, %	Индекс доминирования	
фенхель обыкновенный				
Тли <i>Aphidoidea</i> Latreille	87	77	31,80	доминанты
Крупные трипсы <i>Phlaeothripidae</i> Uzel	37	38	31,10	
Огнёвки-травянки <i>Crambidae</i> Latreille	67	85	7,50	виды- субдоминанты
Совки <i>Noctuidae</i> Latreille	10	69	3,60	
Пенницы <i>Aphrophoridae</i> Amyot & Serville	70	62	2,62	
Цикадки <i>Cicadellidae</i> Latreille	23	54	1,91	
Церкопиды <i>Cercopidae</i> Leach	90	92	1,19	
Долгоносики <i>Curculionidae</i> Latreille	13	46	1,06	
Настоящие щитники <i>Pentatomidae</i> Leach	20	100	0,73	субдоминанты I порядка
кориандр посевной				
Цикадки <i>Cicadellidae</i> Latreille	87	80	28,94	доминанты
Тли <i>Aphidoidea</i> Latreille	70	70	28,30	
Настоящие щитники <i>Pentatomidae</i> Leach	77	30	2,55	виды- субдоминанты
Огнёвки-травянки <i>Crambidae</i> Latreille	67	80	1,87	
Пенницы <i>Aphrophoridae</i> Amyot & Serville	33	30	1,34	
Совки <i>Noctuidae</i> Latreille	23	40	1,28	
Злаковые моли-минёры <i>Elachistidae</i> Bruand	63	60	1,28	
Эвритомид <i>Eurytomidae</i> Latreille	63	50	1,06	
Слепняки <i>Miridae</i> Hahn	27	30	0,64	субдоминанты I порядка

Обнаруженные фитофаги были разделены на группы по индексу их доминирования (см. таблицу 3). К группе доминантов на фенхеле обыкновенном отнесены два вида членистоногих: тли *Aphidoidea* Latreille и крупные трипсы *Phlaeothripidae* Uzel, индекс доминирования которых составил 31,80 и 31,10 соответственно. Наиболее крупной по видовому составу являлась группа видов-субдоминантов, в которую вошло шесть видов фитофагов, индекс доминирования которых варьировал в пределах от 1,06 до 7,50. В группу субдоминантов I порядка вошел один вид фитофага – настоящие щитники *Pentatomidae* Leach с индексом доминирования 0,73.

Из вредителей, обнаруженных на кориандре посевном, в группу доминантов вошли цикадки и тли с индексами доминирования 28,94 и 28,30 соответственно. В группу видов-субдоминантов вошли шесть видов с индексом доминирования 1,06–2,55. К группе субдоминантов I порядка отнесены слепняки с индексом доминирования 0,64.

Кроме изучения видового состава, численности и доминирования отдельных видов членистоногих вредителей на сортовых участках размножения обеих культур, в 2019 г. проводили анализ коллекций фенхеля обыкновенного (75 образцов) и кориандра посевного (163 образца).

Проведенные обследования образцов фенхеля обыкновенного показали, что, несмотря на довольно широкий перечень вредителей, степень их вредоносности в коллекции была невысокой. Сильного повреждения коллекционных образцов вредителями не обнаружено (таблица 4).

Таблица 4 – Количество образцов (%) коллекции фенхеля обыкновенного, поврежденных вредителями, 2019 г.

Вредитель	Степень повреждения, %			
	сильная	средняя	слабая	отсутствует
Тли <i>Aphidoidea</i> Latreille	0	2	15	83
Крупные трипсы <i>Phlaeothripidae</i> Uzel	0	0	20	80
Огнёвки-травянки <i>Crambidae</i> Latreille	0	2	44	54
Совки <i>Noctuidae</i> Latreille	0	0	20	80
Пенницы <i>Aphrophoridae</i> Amyot & Serville	0	15	20	65
Цикадки <i>Cicadellidae</i> Latreille	0	4	60	36
Церкопиды <i>Cercopidae</i> Leach	0	0	5	95
Долгоносики <i>Curculionidae</i> Latreille	0	6	10	84
Настоящие щитники <i>Pentatomidae</i> Leach	0	0	2	98

Отмечены единичные образцы (2–15 %) со средним повреждением каким-либо видом. Наиболее ощутимый вред в коллекции наносили огнёвки-травянки, цикадки и пенницы, вызывавшие среднее (у 2, 4 и 15 % образцов соответственно) и слабое (у 44, 60 и 20 % образцов соответственно) поражение растений. Растения 20 % образцов слабо повреждались крупными трипсами и совками. В большинстве случаев присутствие остальных вредителей на 84–98 % коллекционных образцов не сопровождалось ощутимым повреждением растений.

Проведенные обследования коллекции кориандра посевного также показали, что, несмотря на то, что на большинстве образцов отмечено питание вредителей, степень вредоносности их, как правило, была незначительной (таблица 5).

Таблица 5 – Количество образцов (%) коллекции кориандра посевного, поврежденных вредителями, 2019 г.

Вредитель	Степень повреждения, %			
	сильная	средняя	слабая	отсутствует
Цикадки <i>Cicadellidae</i> Latreille	0	0	7	93
Тли <i>Aphidoidea</i> Latreille	10	15	10	75
Настоящие щитники <i>Pentatomidae</i> Leach	0	0	5	95
Огнёвки-травянки <i>Crambidae</i> eLatreille	0	10	10	80
Пенницы <i>Aphrophoridae</i> Amyot & Serville	0	0	10	90
Совки <i>Noctuidae</i> Latreille	0	5	10	85
Злаковые моли-минёры <i>Elachistidae</i> Bruand	10	10	15	65
Эвритомид <i>Eurytomidae</i> Latreille	10	5	5	80
Слепняки <i>Miridae</i> Hahn	0	0	4	96

Наиболее вредоносными, вызывавшими повреждения разной степени у растений 20–35% образцов кориандра посевного, были тли, злаковые моли-минёры и эвритомид. Среднее и слабое повреждение растений у 15–20 % образцов вызывали совки и огневки-травянки. Остальные вредители у 90–96 % образцов не вызывали ощутимых повреждений растений.

Анализ образцов фенхеля обыкновенного и кориандра посевного проведен на базе коллекции генофонда эфиромасличных, пряноароматических и лекарственных растений RIAS, зарегистрированной в РФ как уникальная научная установка УНУ №507515 (<http://www.ckp-rf.ru>).

Изучение коллекций фенхеля обыкновенного и кориандра посевного продолжается, по итогам полученных многолетних данных будут выделены образцы по степени поврежденности вредителями.

Выводы

В ходе исследований на фенхеле обыкновенном зафиксировано развитие 15 членистоногих вредителей, относящихся к одному классу, шести отрядам девяти семействам, а на кориандре посевном – 13 видов вредителей, относящихся к одному классу, пяти отрядам девяти семействам.

Выделено семь видов фитофагов, относящихся к пяти родам, встречающиеся на обеих культурах. Основными вредителями были комплекс цикадок Cicadellidae (три вида). Их распространенность составляла 80–90 % во все годы исследований. Высокой, в пределах 80–90 % на фенхеле и 60–80 % на кориандре, была распространенность тли Aphidoidea. Обнаруженные фитофаги разделены на группы по индексу их доминирования.

Обследования 75 образцов коллекции фенхеля обыкновенного показали, что, несмотря на довольно широкий перечень вредителей, степень их вредоносности в культуре была невысокой. Наиболее ощутимый вред в коллекции наносили огнёвки-травянки Crambidae, цикадки Cicadellidae и пенницы Aphrophoridae, вызывавшие среднее (у 2, 4 и 15 % образцов соответственно) и слабое (у 44, 60 и 20 % образцов соответственно) поражение растений.

Анализ коллекции кориандра посевного, включающей 163 образца, показал, что наиболее вредоносными, вызывавшими повреждения разной степени у растений 20–35 % образцов, были тли Aphidoidea, злаковые моли-минёры Elachistidae и эвритомид Eurytomidae.

Литература

1. Атлас лекарственных растений России. Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений // Под общ. ред. Н. И. Сидельникова. М., б/и, 2021. 646 с.
2. Лукомец В. М., Кривошлыков К. М., Зеленцов С. В. Эфиромасличные культуры. Краснодар: Просвещение-Юг, 2017. 295 с.
3. Селекция эфиромасличных культур: методические указания // Под ред. А. И. Аринштейн. Симферополь: Научно-производственное объединение по эфиромасличным культурам и маслам. Всесоюзное научно-исследовательский институт эфиромасличных культур, 1977. 151 с.
4. Ергара Г. А. Видовой состав вредителей на многолетних травах и применение химических мер борьбы в условиях Северного Казахстана // Молодой ученый. 2020. № 15 (305). С. 305–309.
5. Мельникова Г. В., Никифорова О. И., Нестеров В. В. Видовой состав вредителей лекарственных культур в условиях Среднего Поволжья // Молодой ученый. 2017. № 21. С. 42–46.
6. Бондаренко Н. В. Биологическая защита растений. Л.: Колос, 1978. 255 с.
7. Дмитриева Л. Ф. Вредители лекарственных культур в Прииссыкулье и обоснование мер борьбы с ними. Дисс. ... канд. биол. наук. М.: Московская ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, 1985. 169 с.
8. Догадина М. А., Тухтаев Е. А. Видовой состав вредителей лекарственных культур в условиях Центрально-черноморского района // Вестник аграрной науки. 2019. № 3 (78). С. 9–16. DOI: 10.15217/issn2587-666X.2019.3.9.
9. Тимофеева В. А., Линник Л. А., Головченко Л. А. Болезни и вредители лекарственных растений // Наука и инновации. 2015. Т. 8. № 15. С. 57–63.
10. Чумак В. А. Динамика численности вредителей и болезней на плантациях мяты в Крыму // Труды ВНИИЭМК. 1984. Т. XVI. С. 131–141.
11. Чумак В. А., Жалина Д. С., Петров А. С. Методические указания по оценке сортов и селекционного материала эфиромасличных культур на устойчивость к болезням и вредителям. М., 1980. 22 с.
12. Чумак В. А. Вредители иссопа лекарственного // Научные труды ЮФНУБиПУ «КАУ». 2012. № 145. С. 154–158.
13. Дроботова Е. Н. Видовой состав вредителей эфиромасличных культур ФГБУН «НИИСХ КРЫМА» // Сборник трудов V Международная научная конференция «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки». Симферополь: Ариал, 2020. С. 47–49. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-18.

14. Филипчук О. Д., Быкова О. А., Тхаганова Р. Р. Фитосанитарное состояние лекарственных культур юга России // Таврический вестник аграрной науки. Симферополь: 2017. № 3 (11). С. 47–53.
15. Быков В. А., Бушковский Л. М., Пушкина Г. П. Защита лекарственных культур от вредителей, болезней и сорняков. Справочник. М., 2006. 112 с.
16. Аджиева Л. С. Эфиромасличная отрасль в Крыму: особенности развития в 1861–1917 гг. // Вестник кадровой политики, аграрного образования и инноваций. 2015. № 4-6. С. 79–81.
17. Савчук Л. П. Эфирномасличные культуры и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 104 с.
18. Савчук Л.П. Климат предгорья Крыма и эфирносы. Симферополь: ЧП: «Эльиньо», 2006. 76 с.
19. Агроклиматический справочник по Крымской области. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 136 с.
20. Экономические пороги вредоносности вредителей, болезней и сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур: справочник. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 76 с.
21. Захаренко В. А. Защита растений от вредителей и болезней. Санкт-Петербург: ВИЗР, 1998. 305 с.
22. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В. Использование эфирных масел в медицине, ароматерапии, ветеринарии и растениеводстве (обзор) //Таврический вестник аграрной науки. 2018. №1(13). С. 18–40.
23. Невкрытая Н. В., Кривда С. И., Золотилова О. М., Золотилов В. А., Бабанина С. С., Аметова Э. Д., Марченко М. П., Новиков И. А., Дроботова Е. Н., Кривчик Н. С., Скипор О. Б. Специализированные коллекции эфиромасличных культур ФГБУН «НИИСХ Крыма». Кориандр посевной *Coriandrum sativum* L., фенхель обыкновенный *Foeniculum vulgare* Mill. Методические рекомендации по селекции и семеноводству эфиромасличных культур семейства Сельдерейные *Ariaceae* L. Справочное пособие. Симферополь: ИТ «Ариал». 2022. 203 с.
24. Upson T. M., Andrews S. The Genus *Lavandula*. A Botanical Magazine Monograph. Royal Botanic Gardens. Kew Publ., 2004. 442 p.
25. Khani A., Rahdari T. Chemical composition and insecticidal activity of essential oil from *Coriandrum sativum* Seeds against *Tribolium confusum* and *Callosobruchus maculatus* // International Scholarly Research Notices. 2012. Vol. 2012. Art. No. 263517. DOI:10.5402/2012/263517.
26. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В., Мишнев А. В., Назаренко Л. Г. Эфиромасличная отрасль Крыма. Вчера, сегодня, завтра. 2-ое издание, дополненное. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. 320 с.
27. Akhbari M., Kord R., Nodooshan S., Hamed S. Analysis and evaluation of the antimicrobial and anticancer activities of the essential oil isolated from *Foeniculum vulgare* from Hamedan, Iran // Natural Product Research. 2019. Vol. 33 (11). P. 1629–1632. DOI: 10.1080/14786419.2017.1423310.
28. Rather M. A., Dar B. A., Sofi Sh. N., Bhat B. A., Qurishi M. A. *Foeniculum vulgare*: a comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety //Arabian Journal of Chemistry. 2016. Vol. 9. P. 1574–1583. DOI: 10.1016/j.arabjc.2012.04.011.
29. Choi E.-M., Hwang J.-K. Anti-inflammatory, analgesic and antioxidant activities of the fruit of *Foeniculum vulgare* // Fitoterapia. 2004. Vol. 75 (6). P. 557–565. DOI: 10.1016/j.fitote.2004.05.005.
30. Палий В. Ф. Методика изучения фауны и фенологии насекомых. Воронеж, 1970. 189 с.
31. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
32. Рекомендации по учету и выявлению вредителей и болезней сельскохозяйственных растений. Министерство сельского хозяйства РСФСР ВНИИЗР. Воронеж, 1984. 274 с.
33. Методы определения болезней и вредителей сельскохозяйственных растений / под ред. Попковой К. В., Шмыгли В. А. М.: Агропромиздат, 1987. 224 с.
34. Пикушова Э. А., Анцупова Т. Е, Девяткин А. М. Определитель вредителей сельскохозяйственных культур по повреждениям растений для юга России. Краснодар: ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», 2013. 119 с.

References

1. Atlas of medicinal plants of Russia. All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants // Under the general editorship of N. I. Sidelnikov. Moscow, w/o ed., 2021. 646 p.
2. Lukomets V. M., Krivoshlykov K. M., Zelentsov S. V. Essential oil crops. Krasnodar: Prosveshcheniye-Yug, 2017. 295 p.
3. Essential oil crops breeding (guidelines) // Ed. by A. I. Arinstein. Simferopol: Scientific Production Association for essential oil crops and oils. All-Union Research Institute of Aromatic Crops (VNIИЕМК), 1977. 151 p.
4. Ergara G. A. Species composition of pests of perennial grasses and the use of chemical control measures in the conditions of Northern Kazakhstan // Young Scientist. 2020. No. 15 (305). P. 305–309.

5. Melnikova G. V., Nikiforova O. I., Nesterov V. V. Species composition of pests of medicinal crops in the conditions of the Middle Volga // *Young Scientist*. 2017. No. 21. P. 42–46.
6. Bondarenko N. V. *Biological protection of plants*. Leningrad: Kolos, 1978. 255 p.
7. Dmitrieva L. F. Pests of medicinal crops in the Issyk-Kul region and substantiation of measures to control them. Thesis ... Cand. Sc. (Biol.). Moscow: Lenin Order and Labor Red Banner Order Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, 1985. 169 p.
8. Dogadina M. A., Tukhtaev E. A. The specific list of pests of medicinal cultures in the conditions of the central chernozem area (on the example of the Orel region) // *Bulletin of Agrarian Science*. 2019. No. 3 (78). P. 9–16. DOI: 10.15217/issn2587-666X.2019.3.9.
9. Timofeeva V. A., Linnik L. A., Golovchenko L. A. Diseases and plant pests of the medicinal herbs // *Science and Innovations*. 2015. Vol. 8. No. 15. P. 57–63.
10. Chumak V. A. Dynamics of the number of pests and diseases on mint plantations in the Crimea // *Proceedings of VNIIEMK*. 1984. Vol. XVI. P. 131–141.
11. Chumak V. A., Zhalina D. S., Petrov A. S. Guidelines for assessing varieties and breeding material of essential oil crops for resistance to diseases and pests. Moscow, 1980. 22 p.
12. Chumak V. A. Pests of *Hyssopus officinalis* // *Scientific works of the Southern Branch of the National University of Bioresources and Environmental Management of Ukraine “Crimean Agrotechnological University”*. 2012. No. 145. P. 154–158.
13. Drobotova E. N. Pests of essential oil crops grown at the Research Institute of Agriculture of Crimea // *Proceedings of V International Scientific Conference “Current State, Problems and Prospects of the Development of Agrarian Science”*. Simferopol: Arial, 2020. P. 47–49. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-18.
14. Filipchuk O. D., Bykova O. A., Thaganova R. R. Phytosanitary conditions of medicinal crops of Southern RF // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2017. No. 3 (11). P. 47–53.
15. Bykov V. A., Bushkovsky L. M., Pushkina G. P. *Protection of medicinal crops from pests, diseases and weeds: reference book*. Moscow: All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR), 2006. 112 p.
16. Adzhieva L. S. Essential oil industry in the Crimea: features of development in 1861–1917 // *Vestnik kadrovoy politiki, agrarnogo obrazovaniya i innovatsiy*. 2015. No. 4–6. P. 79–81.
17. Savchuk L. P. *Essential oil crops and climate*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. 104 p.
18. Savchuk L. P. *The climate of the foothill areas of the Crimea and essential oil crops*. Simferopol: El'in'go, 2006. 76 p.
19. *Agro-climatic guide: Crimean region*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1959. 136 p.
20. *The economic thresholds of harmfulness of basic pests, diseases and weeds on agricultural crops: handbook*. Moscow: Rosinformagrotekh, 2016. 76 p.
21. Zakharenko V. A. *Protection of plants from pests and diseases*. Saint-Petersburg: All-Russian institute of plant protection (FSBSI VIZR), 1998. 305 p.
22. Pashetskii V. S., Nevkrytaya N. V. Use of essential oils in medicine, aromatherapy, veterinary and crop production (review) // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2018. No. 1(13). P.18–40.
23. Nevkrytaya N. V., Krivda S. I., Zolotilova O. M., Zolotilov V. A., Babanina S. S., Ametova E. D., Marchenko M. P., Novikov I. A., Drobotova E. N., Krivchik N. S., Skipor O. B. *Specialized collections of essential oil crops of Research Institute of Agriculture of Crimea. Coriandrum sativum L., Foeniculum vulgare Mill.* Guidelines for breeding and seed production of essential oil crops from Apiaceae family. Reference book. Simferopol: Arial, 2022. 203 p.
24. Upson T.M., Andrews S. *The genus Lavandula. A Botanical Magazine Monograph*. Royal Botanic Gardens. Kew Publ., 2004. 442 p.
25. Khani A., Rahdari T. Chemical composition and insecticidal activity of essential oil from *Coriandrum sativum* seeds against *Tribolium confusum* and *Callosobruchus maculatus* // *International Scholarly Research Notices*. 2012. Vol. 2012. Article ID 263517. DOI: 10.5402/2012/263517.
26. Pashetskii V. S., Nevkrytaya N. V., Mishnev A. V., Nazarenko L. G. *Essential oil industry in the Crimea. Yesterday, today, tomorrow*. 2nd edition, updated. Simferopol: Arial, 2018. 320 p.
27. Akhbari M., Kord R., Nodoshan S., Hamedi S. Analysis and evaluation of the antimicrobial and anticancer activities of the essential oil isolated from *Foeniculum vulgare* from Hamedan, Iran // *Natural Product Research*. 2019. Vol. 33 (11). P. 1629–1632. DOI: 10.1080/14786419.2017.1423310.
28. Rather M. A., Dar B. A., Sofi Sh. N., Bhat B. A., Qurishi M. A. *Foeniculum vulgare: a comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety* // *Arabian Journal of Chemistry*. 2016. Vol. 9. P. 1574–1583. DOI: 10.1016/j.arabjc.2012.04.011.
29. Choi E.-M., Hwang J.-K. Antiinflammatory, analgesic and antioxidant activities of the fruit of *Foeniculum vulgare* // *Fitoterapia*. 2004. Vol. 75 (6). P 557–565. DOI: 10.1016/j.fitote.2004.05.005.
30. Paliy V. F. *Methods of studying the fauna and phenology of insects*. Voronezh, 1970. 189 p.

31. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 352 p.
32. Recommendations for accounting and detection of pests and diseases of agricultural crops. Voronezh: All-Russian Research Institute of Plant Protection, 1984. 274 p.
33. Methods for determining diseases and pests of agricultural crops // Ed. by Popkova K.V., Shmygli V.A. Moscow: Agropromizdat, 1987. 224 p.
34. Pikushova E. A., Antsupova T. E., Devyatkin A. M. Pests identification guide in the context of plant damage in the South of Russia. Krasnodar: Kuban State Agrarian University, 2013. 119 p.

UDC 637.75

Drobotova E. N., Kashirina N. A., Nevkrytaya N. V.

**SPECIES COMPOSITION OF PESTS ON *FOENICULUM VULGARE* MILL.
AND *CORIANDRUM SATIVUM* L. UNDER CONDITIONS OF THE CRIMEAN
FOOTHILLS**

Summary. *The aim of the research was to identify dominant and the most dangerous phytophages of essential oil crops in the family Apiaceae, namely Coriandrum sativum L. and Foeniculum vulgare Mill., under conditions of the Crimean Foothills in order to determine optimal measures for their control and prevention. Bearing in mind that climatic conditions of the peninsula are changing, it is relevant to study pest diversity to develop a set of measures to control their development and reduce their impact on cultivated crops. The studies were conducted in 2019–2021 on the experimental field of the Research Institute of Agriculture of Crimea (village of Krymskaya Roza, Belogorsky district, Republic of Crimea). The climate of the region is temperate continental: winters are mild; summers are warm and dry. In breeding nurseries (PR₁) of fennel variety 'Mertsishor' and coriander variety 'Silach', we identified species and quantitative composition of pests. All accountings (10–13 times) were carried out from March to October with an interval of 10–15 days. In areas under F. vulgare we recorded the development of 15 arthropod pests belonging to one class, six orders and nine families; under C. sativum – 13 species belonging to one class, five orders, nine families. Seven species of phytophages typical for both crops were identified. The most common (80–90 %) pests were leafhoppers Cicadellidae Latreille (3 species). On fennel and coriander, the prevalence of the aphids Aphidoidea Latreille was high: 80–90 % and 60–80 %, respectively. They were classified as dominant for both crops. Seventy-five samples of fennel and 163 samples of coriander were analyzed. The most significant damage in the fennel collection was caused by grass moths Crambidae Latreille, leafhoppers Cicadellidae Latreille and spittlebugs Aphrophoridae Amyot & Serville, which caused moderate (2, 4, and 15 % of samples, respectively) and weak (44, 60, and 20% of samples, respectively) plant damage. The most harmful, causing varying degrees of damage up to 20-35% of coriander plants from the collection, were aphids Aphidoidea Latreille, grass-miner moths Elachistidae Bruand and eurytomids Eurytomidae Latreille.*

Keywords: *essential oil crops, Foeniculum vulgare Mill., Coriandrum sativum L., pests, dominants, phytophages, harmful effects of pests.*

Дроботова Елена Николаевна, научный сотрудник отдела эфиромасличных и лекарственных культур, лаборатории поддержания стабильности и качества сортов ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: elena-drobotova0345@mail.ru.

Каширина Наталья Александровна научный сотрудник отдела эфиромасличных и лекарственных культур, лаборатории поддержания стабильности и качества сортов ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: natalia.kashirina.96@mail.ru.

Невкрытая Наталья Владимировна, кандидат биологических наук, заведующая отделом селекции селекционно-семеноводческого центра по эфиромасличным культурам ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: nevkritaya@mail.ru.

Drobotova Elena Nikolaevna, researcher, Laboratory for maintaining variety stability and quality, Department of essential oil and medicinal crops, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: elena-drobotova0345@mail.ru.

Kashirina Natalya Aleksandrovna, researcher, Laboratory for maintaining variety stability and quality, Department of essential oil and medicinal crops, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: elena-drobotova0345@mail.ru.

Nevkrytaya Natalya Vladimirovna, Cand. Sc. (Biol.), head of the Department of breeding, Center of Essential Oil Crops Breeding and Seed Production, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: nevkritaya@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 20.07.2022.

Дата принятия к печати – 11.08.2022.

УДК 632.952+633 (571.1)
EDN LGTHYJ

Ледовский Е. Н., Доронин В. Г.
**ФУНГИЦИДЫ И БАКОВЫЕ СМЕСИ С УДОБРЕНИЯМИ В ПОСЕВАХ
ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

Реферат. Совмещение технологических операций по борьбе с болезнями и некорневой подкормки зерновых культур представляет значительный научно-практический интерес. Этот приём начинают широко использовать производители региона, но реальной оценки его эффективности нет. Цель исследований – выявить влияние применения фунгицидов в баковых смесях с азотными и комплексными удобрениями на их биологическую эффективность и урожайность зерна яровой пшеницы в условиях южной лесостепи Омской области. Исследования проведены на посевах второй культуры после пара в 2018–2020 гг. Севооборот: пар чистый – яровая пшеница – яровая пшеница – ячмень. Почва опытного участка чернозёмно-луговая, тяжелосуглинистая. Опыт полевой двухфакторный, площадь делянок 25 м², повторность четырёхкратная. Схема опыта включала 12 вариантов по изучению эффективности химических фунгицидов и их баковых смесей с карбамидом (10 и 15 кг/га физ. веса), жидким комплексным удобрением Agree's «Азот» (3 л/га), а также соответствующие варианты с внекорневой подкормкой удобрениями без фунгицидов. Погодные условия вегетационных периодов за время исследований существенно различались. В 2018 г. за период май-август ГТК составил 1,31, 2019 г. – 0,99, 2020 г. – 0,67. Некорневая подкормка посевов яровой пшеницы карбамидом в условиях 2018–2020 гг. незначительно снижала развитие листостеблевых инфекций, отмечена тенденция к росту урожайности зерна на 0,25–0,43 т/га. В 2020 г. при умеренном развитии видов ржавчины урожайность увеличилась существенно на 0,70–1,15 т/га. При обработке посевов комплексным удобрением Agree's «Азот» во все годы исследований получена прибавка от 0,50 до 1,35 т/га. Применение карбамида и жидкого комплексного удобрения Agree's «Азот» в баковой смеси с фунгицидами не снижало их биологическую эффективность, а часто её увеличивало. Наибольший рост урожайности к контролю был от баковых смесей фунгицидов с карбамидом в дозе 10 кг/га и Agree's «Азот» – от 0,72 до 1,74 т/га, что даёт основание для рекомендаций этих приёмов на посевах яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири.

Ключевые слова: яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.), листостеблевые инфекции, биологическая эффективность, фунгицид, некорневая подкормка, удобрения, урожайность.

Для цитирования: Ледовский Е. Н., Доронин В. Г. Фунгициды и баковые смеси с удобрениями в посевах яровой пшеницы на юге Западной Сибири // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 56–65. EDN: LGTHYJ.

For citation: Ledovsky E. N., Doronin V. G. Fungicides and their tank mixtures with fertilizers in wheat crops in the south of Western Siberia // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 56–65. EDN: LGTHYJ.

Введение

По данным Всероссийского института защиты растений, ежегодно от болезней РФ недополучает от 8,5 до 25 млн т. зерна, средний уровень потерь составляет 18,3 млн т или 26 % [1].

В Западной Сибири ежегодно выращивают около 10 % общероссийского урожая зерна яровой мягкой пшеницы. Агроэкологические условия региона позволяют увеличить его производство в 1,5–3,0 раза [1, 2].

В последние годы возрастает актуальность эффективной защиты растений от листостеблевых инфекций. Для получения более высоких урожаев яровой пшеницы необходимо радикально уменьшить негативное влияние болезней. Наиболее вредоносными в регионе являются: бурая листовая ржавчина (*Puccinia triticina* Eriks.), стеблевая ржавчина (*Puccinia graminis* Rers.), мучнистая роса (*Erysiphe graminis* DC.) и септориоз (*Septoria ssp.*) [3].

Исследования показали, что продуктивность зерновых культур от листостеблевых болезней резко сокращается. В среднем от болезней теряется до 20 % зерна, а в годы эпифитотий – 40–60 % урожая, при этом ухудшается качество продукции, уменьшается содержание в зерне белка и клейковины, моносахаридов, снижается стекловидность [3–5].

Урожайность и качество зерна, особенно при повторных посевах, на полях без удобрений и средств защиты от листостеблевых инфекций резко уменьшаются по причине низкой обеспеченности элементами питания, повышения засорённости и усиления патогенности инфекционного фона [6, 7].

Азотные удобрения являются ключевым фактором при определении систем возделывания культур, оказывают сильное влияние на метаболизм растений и биологические процессы, регулирующие рост и развитие растений [8, 9].

Азот и фунгициды оказывают синергетическое воздействие на урожайность зерна озимой пшеницы и содержание в нём белка. Без применения фунгицидов значительно снижается её продуктивность, особенно в системах возделывания с высокими дозами азота. Защита листового аппарата играет важную роль в продлении жизненного цикла растений и активности фотосинтеза. На сегодняшний день мало исследований, посвященных основным и кумулятивным эффектам фунгицида и азота на продуктивность пшеницы [10, 11].

Вместе с основным и припосевным удобрением повышается роль листовых подкормок, то есть доставки легкорастворимых макро- и микроэлементов, а также других необходимых веществ через поверхность листьев, стеблей к корням и другим органам растения. Назначение подкормки – усилить питание растений в определенные периоды их роста и развития. Некорневая подкормка является приёмом, дополняющим или улучшающим действие основного внесения удобрений. Их сочетание позволяет обеспечить оптимальное питание растений в процессе всей вегетации и эффективно вносить необходимые вещества [12, 13].

В наших исследованиях 2018–2019 гг. от смеси гербицидов и карбамида (5 кг/га) отмечена лишь тенденция к росту урожайности зерна в сравнении с гербицидным контролем. Дополнительная подкормка 5 и 10 кг/га карбамида в фазе начала колошения яровой пшеницы повышала урожайность на 0,32 и 0,42 (2018 г.) и 0,45 и 0,47 т/га (2019 г.) [14].

Одновременное сочетание фунгицида и микроудобрений привело к дополнительному увеличению урожайности озимой пшеницы на 0,39 т/га. Внекорневое внесение микроэлементов поддерживает действие фунгицидной защиты пшеницы, повышая урожайность при высоких дозах азота [15].

В современном арсенале средств химической защиты растений есть ряд фунгицидов, обладающих высокой биологической эффективностью против листостеблевых болезней. Применение их в период вегетации является эффективным способом минимизации вредоносности этих инфекций. Значительный научно-практический интерес представляет совмещение фунгицидной обработки с некорневой подкормкой посевов яровой пшеницы азотными и комплексными удобрениями. Этот приём начинают массово использовать производители региона, но реальной

оценки его эффективности в наших условиях нет. При этом, нормы расхода удобрений кратно меньше, чем в рекомендациях по подкормкам, изданных ранее [16], а также в исследованиях в других регионах, где рекомендуется применение карбамида для листовой подкормки в дозе N₁₅ и N₃₀ в действующем веществе [17, 18]. По оперативным данным МСХ Омской области основное внесение азотных удобрений в 2022 г. в среднем на площади 1175276 га составило всего 26,1 кг д.в.

Цель исследований – выявить влияние применения фунгицидов в баковых смесях с азотными и комплексными удобрениями на их биологическую эффективность и урожайность зерна яровой пшеницы в условиях южной лесостепи Омской области.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2018–2020 гг. на опытных полях ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (южная лесостепная зона), в посевах яровой пшеницы среднераннего сорта Омская 36, высеваемой второй культурой после пара. Севооборот: чистый пар – яровая пшеница – яровая пшеница – ячмень. Почва опытного участка чернозёмно-луговая, тяжелосуглинистая, с содержанием гумуса в пахотном слое 6,4–6,6 % (по Тюрину), подвижного фосфора и обменного калия соответственно 105–128 и 350–420 мг/кг почвы (по Чирикову), РН_{KCl} – 6,4–6,7. Содержание нитратного азота в почве на момент посева в 2018 г. – 18,2, 2019 г. – 17,8, 2020 г. – 16,9 %.

Погодные условия вегетационных периодов за время исследований существенно различались. 2018 г. отличался холодной погодой в мае с количеством осадков 74 мм (285 % нормы). В июне – небольшой недобор и осадки в 124 % к норме. В июле и первой половине августа преобладала тёплая погода, третья декада августа – прохладная и дождливая.

В мае 2019 г. температура и осадки были близкими к норме. Июнь – прохладный и влажный – температура воздуха оказалась на 2,4 °С ниже нормы, осадков выпало 85 мм (167 % нормы). Июль – в основном тёплый и сухой, ГТК за месяц 0,44, тёплым был и август.

Май 2020 г. был жарким и сухим – отмечено рекордное превышение среднемесячной температуры воздуха на 5,6 °С. Июнь – прохладный, но существенные осадки выпали только в третьей декаде (82 % нормы). В июле очень тёплая и жаркая погода была в первых двух декадах, осадков выпало очень мало, ГТК за месяц составил 0,2. В августе средняя температура воздуха была выше нормы на 3,2 °С, а осадки выпали во второй и третьей декадах.

Весной поля обрабатывали тяжёлыми зубowymi боронами в два следа, предпосевная культивация – агрегатом «Степняк 5,6», посев дисковой сеялкой СЗП-3,6 с последующим прикатыванием. Препараты вносили ручным ранцевым опрыскивателем «PJ-18», расход рабочей жидкости 200 л/га. Площадь делянки – 25 м², повторность – четырёхкратная, размещение вариантов рендомизированное. Уборку осуществляли комбайном «Сампо-130». Учёты и наблюдения проводили по общепринятым методикам [19–21]. Фунгицидную обработку и некорневую подкормку осуществляли в фазе начала колошения пшеницы. Биологическую эффективность обработки определяли через 20 дней после обработки и сравнивали с контролем. При учёте поражённости листостеблевыми болезнями пшеницы определяли распространённость и развитие инфекций. Развитие мучнистой росы (интенсивность поражённости растений) определяли по шкале Гешеле, бурой ржавчины – Петерсона и др. Расчёт выполняли по формуле: $R = \Sigma (a \times b) \div N$, где R – развитие болезни, %; $\Sigma (a \times b)$ – сумма произведений числа больных растений (a) на соответствующий % поражённости (b); N – общее количество растений в пробах.

В опыте изучали эффективность химических фунгицидов и баковых смесей с карбамидом, а также жидким минеральным удобрением Agree's «Азот». В схему

опыта включены: контроль (без удобрений и фунгицидов), варианты с некорневой подкормкой карбамидом и Agree's «Азот» без фунгицидов, два фунгицида, баковые смеси фунгицидов и удобрений. Карбамид – удобрение с амидной формой азота, Agree's «Азот» – жидкое комплексное минеральное удобрение, содержащее макро и микроэлементы (в хелатной форме).

Для защиты от комплекса листостеблевых болезней применялись фунгициды «Титул Дуо», ККР (пропиконазол + тебуконазол 200 + 200 г/л) – 0,32 л/га и «Абакус Ультра», СЭ (пираклостробин + эпоксиконазол 62,5 + 62,5 г/л) – 1,5 л/га. Норма расхода карбамида – 5 и 10 кг/га (физический вес), Agree's «Азот» – 3 л/га.

Обработку данных проводили методом дисперсионного анализа по Доспехову с использованием прикладных программ.

Результаты и их обсуждение

В посевах пшеницы за годы исследований преобладали бурая листовая и стеблевая ржавчины, мучнистая роса, в меньшей степени проявился септориоз. На фитосанитарное состояние значительное влияние оказали погодные условия, которые по годам существенно различались.

В целом, 2018 г. был благоприятным для развития листостеблевых болезней яровой пшеницы. Через три недели после обработки в контроле поражённость мучнистой росой достигала 30,5 %, видами ржавчины – 45 % (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние обработки препаратами и баковыми смесями на урожайность зерна пшеницы Омская 36, 2018 г.

Вариант	Норма расхода, кг, л/га	Биологическая эффективность, %						Урожайность зерна, т/га	Прибавка к контролю, т
		мучнистая роса		виды ржавчины		септориоз			
		R, %	Б.Э., %	R, %	Б.Э., %	R, %	Б.Э., %		
Контроль	-	30,5	-	45,0	-	3,2	-	1,64	-
Карбамид	10	21,0	31,2	41,0	8,9	2,5	21,9	1,94	0,30
Карбамид	15	17,3	43,3	43,0	4,4	3,0	6,2	1,90	0,26
Agree's «Азот»	3	18,8	38,4	30,5	32,2	2,0	37,5	2,14	0,50
«Титул Дуо»	0,32	4,3	85,9	1,9	95,8	2,4	25,0	2,64	1,0
«Титул Дуо» + карбамид	0,32 + 10	7,5	75,4	2,3	94,9	2,0	37,5	2,80	1,16
«Титул Дуо» + карбамид	0,32 + 15	1,9	93,8	1,0	97,8	1,0	68,8	2,32	0,68
«Титул Дуо» + Agree's «Азот»	0,32 + 3	1,1	96,4	0,5	98,9	1,5	53,1	2,84	1,20
«Абакус Ультра»	1,5	5,3	82,6	0,4	100,0	1,5	53,1	2,99	1,35
«Абакус Ультра» + карбамид	1,5 + 10	1,4	95,4	1,0	97,8	1,2	62,5	2,82	1,18
«Абакус Ультра» + карбамид	1,5 + 15	1,6	94,8	0	100	1,2	62,5	2,57	0,93
«Абакус Ультра» + Agree's «Азот»	1,5 + 3	1,7	94,4	3,0	93,3	0	100	3,38	1,74
								НСР ₀₅ = 0,58	

Примечание. здесь и далее R, % – развитие болезни, Б.Э. – биологическая эффективность; жирным шрифтом выделены существенные прибавки урожайности.

Необходимо отметить снижение развития мучнистой росы к контролю по вариантам с удобрениями в «чистом» виде от 21,0 до 17,3 % (в контроле 30,5 %), а также рост биологической эффективности баковых смесей по сравнению с фунгицидами без удобрений. Степень развития видов ржавчин после обработки культуры Agree's «Азот» уменьшилась на 32,2 %. Биологическая эффективность против ржавчин фунгицидов в «чистом виде» и в баковых смесях была очень высокой – от 93,3 «Абакус Ультра + Agree's «Азот» до 100 % «Абакус Ультра» и «Абакус Ультра + карбамид, 15 кг/га». На фоне низкой поражённости септориозом (3,2 %) не было признаков болезни в варианте «Абакус Ультра» + Agree's «Азот».

При внекорневой подкормке без фунгицидов отмечена только тенденция роста урожайности – от 0,26 до 0,5 т/га. Наибольшая прибавка от фунгицидов получена в варианте с «Абакус Ультра» – 1,35 т/га. Смеси «Титул Дуо», «Абакус Ультра» с карбамидом в дозе 15 кг/га недостоверно снижали урожайность – на 0,32 и 0,42 т/га в сравнении с соответствующими вариантами без удобрения. Отмечена тенденция роста урожайности по баковым смесям фунгицидов с Agree's «Азот», особенно с «Абакус Ультра» – зафиксирована максимальная прибавка к контролю в 1,74 т/га.

Условия 2019 г. благоприятствовали развитию листостеблевых болезней пшеницы. На контрольном варианте поражённость мучнистой росой составила 18,3, ржавчинами – 68,0 и септориозом – 8,6 % (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние обработки препаратами и баковыми смесями на урожайность зерна пшеницы Омская 36, 2019 г.

Вариант	Норма расхода, кг, л/га	Биологическая эффективность, %						Урожайность зерна, т/га	Прибавка к контролю, т
		мучнистая роса		виды ржавчины		септориоз			
		R, %	Б.Э., %	R, %	Б.Э., %	R, %	Б.Э., %		
Контроль	-	18,3	-	68,0	-	8,6	-	2,30	-
Карбамид	10	13,5	26,2	72,0	-5,9	7,0	18,6	2,56	0,25
Карбамид	15	12,3	32,8	60,2	11,5	7,0	18,6	2,73	0,43
Agree's «Азот»	3	11,6	36,6	12,2	24,9	6,4	25,6	2,84	0,54
«Титул Дуо»	0,32	7,0	61,8	23,1	66,0	2,8	67,4	3,61	1,31
«Титул Дуо» + карбамид	0,32 + 10	3,3	82,0	7,8	88,5	2,0	76,7	3,88	1,58
«Титул Дуо» + карбамид	0,32 + 15	2,2	88,0	9,0	86,8	3,5	59,3	2,75	0,45
«Титул Дуо» + Agree's «Азот»	0,32 + 3	5,1	72,1	3,5	94,8	4,8	44,2	3,58	1,28
«Абакус Ультра»	1,5	0,3	98,4	0,3	99,6	0,3	96,5	3,66	1,36
«Абакус Ультра» + карбамид	1,5 + 10	0,4	97,8	0,3	99,6	4,3	50,0	3,90	1,6
«Абакус Ультра» + карбамид	1,5 + 15	0,7	96,2	0,5	99,3	6,4	25,6	4,08	1,78
«Абакус Ультра» + Agree's «Азот»	1,5 + 3	1,8	90,2	1,3	98,1	4,2	51,2	3,82	1,52
								НСР ₀₅ = 0,50	

Биологическая эффективность против мучнистой росы «Абакус Ультра» и баковых смесей его с удобрениями превышала 90 %, максимальный показатель у «Абакус Ультра» в «чистом виде» – 98,4 %. Небольшое снижение поражённости было в вариантах только с некорневой подкормкой удобрениями. Наиболее высокий уровень биологической эффективности против ржавчин получен от «Абакус Ультра» и баковых смесей его с удобрениями (до 99,6 %). Эффективность против септориоза по варианту защиты с «Абакус Ультра» составила 96,5 %.

Фунгицидная обработка и некорневая подкормка посева оказали в основном существенное влияние на урожайность зерна культуры. Применение фунгицидов «Титул Дуо» и «Абакус Ультра» способствовало росту урожайности зерна на 1,31 и 1,36 т/га к контролю. От баковой смеси «Титул Дуо» + карбамид, 10 кг/га получена прибавка к контролю 1,58, но с 15 кг карбамида – всего 0,45 т/га, и она недостоверна. Вероятно, здесь проявился фитотоксический эффект этой смеси на культуру, в то же время по обеим смесям карбамида с «Абакус Ультра» получен наибольший рост урожайности – 1,60 и 1,78 т/га. Прибавки в урожайности от фунгицидов «Титул Дуо» и «Абакус Ультра» в смесях с Agree's «Азот» были соответственно 1,28 и 1,52 т/га. Некорневая подкормка карбамидом без фунгицидов не обеспечила существенного роста, достоверная прибавка – 0,54 т/га получена от Agree's «Азот».

В засушливых условиях 2020 г. развитие мучнистой росы составило 9,1 %, бурой листовой ржавчины – 11,2 %, а стеблевой – 33,0 %. Биологическая эффективность «Абакус Ультра» против мучнистой росы была 58,2 %, а в баковой смеси с Agree's «Азот» – 73,6 %. Применение «Титул Дуо» снижало развитие инфекции лишь на 29,7 %, а в смесях с удобрениями эффекта практически не было (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние обработки препаратами и баковыми смесями на урожайность зерна пшеницы Омская 36, 2020 г.

Вариант	Норма расхода, кг, л/га	Биологическая эффективность, %						Урожайность зерна, т/га	Прибавка к контролю, т
		мучнистая роса		лиственная ржавчины		стеблевая ржавчина			
		R, %	Б.Э., %	R, %	Б.Э., %	R, %	Б.Э., %		
Контроль	-	9,1	-	11,2	-	33,0	-	1,79	-
Карбамид	10	11,2	0	7,8	30,4	24,3	26,4	2,94	1,15
Карбамид	15	10,2	0	7,6	32,1	23,4	29,1	2,49	0,70
Agree's «Азот»	3	13,0	0	1,2	89,3	16,4	50,3	3,14	1,35
«Титул Дуо»	0,32	6,4	29,7	0,4	96,4	1,6	95,2	2,06	0,27
«Титул Дуо» + карбамид	0,32 + 10	8,8	3,3	0	100,0	0,2	99,4	3,08	1,29
«Титул Дуо» + карбамид	0,32 + 15	9,0	1,1	0	100,0	0,5	98,5	3,19	1,40
«Титул Дуо» + Agree's «Азот»	0,32 + 3	9,6	0	0,1	99,1	0,2	99,4	3,05	1,26
«Абакус Ультра»	1,5	3,8	58,2	0	100,0	0	100,0	3,19	1,40
«Абакус Ультра» + карбамид	1,5 + 10	4,7	48,4	0	100,0	0	100,0	2,51	0,72
«Абакус Ультра» + карбамид	1,5 + 15	4,3	52,7	0	100,0	0	100,0	3,15	1,36
«Абакус Ультра» + Agree's «Азот»	1,5 + 3	2,4	73,6	0	100,0	0	100,0	3,02	1,23
								НСР ₀₅ = 0,42	

Пораженность посевов стеблевой ржавчиной от применения фунгицидов и баковых смесей с удобрениями снижалась на 95,2–100 %. В вариантах только с некорневой подкормкой карбамидом 10 и 15 кг/га и Agree's «Азот» поражённость пшеницы уменьшалась соответственно на 26,4; 29,1 и 50,3 %.

На фоне сравнительно низкой пораженности бурой листовой ржавчиной, эффективность фунгицидов и баковых смесей была очень высокой – 96,4–100 %. Отмечено уменьшение пораженности и только от некорневой подкормки – на 30,4 и 32,1 по карбамиду и на 89,3 % – от Agree's «Азот».

Фунгицидная обработка и некорневая подкормка культуры, кроме варианта «Титул Дуо» существенно повлияли на урожайность зерна культуры. Отмечен значительный рост урожайности от некорневой подкормки без фунгицидов. Так, прибавки к контролю от карбамида составили 1,15 и 0,70, а Agree's «Азот» – 1,35 т/га. Рост дозы карбамида с 10 до 15 кг/га снизил урожайность на 0,45 т/га. В то же время, в баковых смесях «Титул Дуо» + карбамид негативного эффекта более высокой дозы не было. Лучший результат от фунгицида без некорневой подкормки получен при обработке «Абакус Ультра», рост урожайности – 1,40 т/га.

Выводы

Некорневая подкормка посевов яровой пшеницы азотным удобрением (карбамид) в дозе 10 и 15 кг/га (физ. веса) в условиях 2018–2020 гг. незначительно снижала развитие листостеблевых инфекций, отмечена тенденция к росту урожайности зерна на 0,25–0,43 т/га, в 2020 г. – урожайность увеличилась существенно на 0,70–1,15 т/га. На фоне с обработкой посевов комплексным удобрением Agree's «Азот» во все годы исследований прибавка составила от 0,50 до 1,35 т/га, что, вероятно, связано с более низким развитием основных болезней.

Применение карбамида и жидкого комплексного удобрения Agree's «Азот» в баковой смеси с фунгицидами не снижает их биологическую эффективность, а часто приводит к её увеличению. Наибольшую прибавку урожайности зерна к контролю показала обработка посевов в фазу начала колошения баковыми смесями фунгицидов с карбамидом в дозе 10 кг/га и Agree's «Азот» от 0,72 до 1,74 т/га, что даёт основание для рекомендаций этих приёмов на посевах яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири.

Литература

1. Кирюшин В. И. Экологизация земледелия и технологическая политика. М.: МСХА, 2000. 473 с.
2. Тепляков Б. И., Теплякова О. И. Болезни яровой пшеницы в Западной Сибири // Защита и карантин растений. 2003. № 1. С. 7–18.
3. Доронин В. Г., Ледовский Е. Н., Кривошеева С. В. Защита яровой мягкой пшеницы от листостеблевых болезней // Земледелие. 2016. № 6. С. 43–46.
4. Санин С. С. Эпифитотии болезней зерновых культур: теория и практика. Избранные труды. ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (ВНИИФ), 2012. С. 446–458.
5. Поползухина Н. А., Якунина Н. А., Поползухин Н. А. Оценка яровой мягкой пшеницы по устойчивости к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам зоны южной лесостепи Западной Сибири // Омский научный вестник. 2014. № 2(134). «Ресурсы Земли. Человек». С. 191–196.
6. Система адаптивного земледелия Омской области. ФГБНУ «Омский АНЦ». Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е.А., 2020. 522 с.
7. Gregory P. J. Crop root systems and nutrient uptake from soils // In book: Molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops. John Wiley and Sons Inc.: Chichester, UK. 2011. P. 21–45. DOI: 10.1002/9780470960707.CH2.
8. Barraclough P. B., Lopez-Bellido R., Hawkesford M. J. Genotypic variation in the uptake, partitioning and remobilisation of nitrogen during grain-filling in wheat // Field Crops Res. 2014. No. 156. P. 242–248. DOI: 10.1016/j.fcr.2013.10.004.

9. Koua A. P., Baig M. M., Oyiga B. C., Léon J., Ballvora A. Fungicide application affects nitrogen utilization efficiency, grain yield, and quality of winter wheat // *Agronomy*. 2021. No. 11. P. 12–95. DOI: 10.3390/agronomy11071295.
10. Carlton R. R., West J. S., Smith P., Fitt B. D. L. A comparison of GHG emissions from UK field crop production under selected arable systems with reference to disease control // *European Journal of Plant Pathology*. 2012. Vol. 133. No. 1. P. 333–351. DOI: 10.1007/s10658-012-9961-0.
11. Аристархов А. Н. Оптимизация питания приложении и приложении удобрений в агроэкосистемах. М.: Центральный научно-исследовательский институт агрохимического обслуживания, 2000. 524 с.
12. Гаитов Т. А., Кантюкова Е. А. Влияние некорневой подкормки на урожай и качество зерна яровой пшеницы // *Достижения науки и техники в АПК*. 2010. № 1. С. 32–33.
13. Ледовский Е. Н., Доронин В. Г. Влияние азотных удобрений и их баковых смесей с гербицидами и фунгицидом на урожайность яровой пшеницы // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 1(1). С. 82–86. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-82-86.
14. Szczepaniak W., Nowicki B., Belka D., Kazimierowicz A., Kulwicki M., Grzebisz W. Effect of foliar application of micronutrients and fungicides on the nitrogen use efficiency in winter wheat // *Agronomy*. 2022. No.12 (2). P. 257. DOI: 10.3390/agronomy12020257.
15. Синицин С. С., Колмаков Ю. В., Овчинников И. П., Бирюков А. И. Увеличение производства и продажи государству высококлассного зерна мягкой и твёрдой пшеницы в Омской области: рекомендации. Омск: Книжное Издательство, 1984. 111 с.
16. Антонов В. Г. Влияние некорневых подкормок на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях Чувашской Республики: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2005. 18 с.
17. Нечаева Н. М. Способы повышения урожайности и качества яровых твёрдых и мягких пшениц в условиях юго-западной части ЦЧР: Автореф. дисс... канд. с.-х. наук. Белгород: ФГОУ ВПО «Белгородская государственная сельскохозяйственная академия», 2003. 20 с.
18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.
19. Методические указания по государственным испытаниям фунгицидов, антибиотиков и протравителей семян с.-х. культур. М.: Колос, 1985. 41 с.
20. Учёт и выявление вредителей и болезней по методике ВНИИЗР. Воронеж: ВНИИЗР, 1984. 276 с.

References

1. Kiryushin V. I. Ecologization of agriculture and technological policy. Moscow: Moscow Agricultural Academy, 2000. 473 p.
2. Teplyakov B. I., Teplyakova O. I. Diseases of spring wheat in Western Siberia // *Plant Protection and Quarantine*. 2003. No. 1. P. 7–18.
3. Doronin V. G., Ledovsky E. N., Krivosheeva S. V. Protection of soft spring wheat from the leaf-stem diseases // *Zemledelie*. 2016. No. 6. P. 43–46.
4. Sanin S. S. Epiphytotics of diseases of grain crops: theory and practice. Selected works. State Scientific Institution All-Russian Research Institute of Phytopathology (VNIIF). 2012. P. 446–458.
5. Popolzukhina N. A., Yakunin N. A., Popolzukhin P. V. Evaluation of spring wheat resistance to adverse abiotic and biotic factors of southern forest-steppe zone of Western Siberia // *Omsk Scientific Bulletin*. 2014. No. 2 (134). Series “Resources of the Earth. Human”. P. 191–196.
6. System of adaptive farming in the Omsk region. FSBSI “Omsk Agrarian Research Center”. Omsk: Individual Entrepreneur Maksheeva E. A. Publ., 2020. 522 p.
7. Gregory P. J. Crop root systems and nutrient uptake from soils // In book: *Molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops*. John Wiley and Sons Inc.: Chichester, UK. 2011. P. 21–45. DOI: 10.1002/9780470960707.CH2.
8. Barraclough P. B., Lopez-Bellido R., Hawkesford M. J. Genotypic variation in the uptake, partitioning and remobilisation of nitrogen during grain-filling in wheat // *Field Crops Res*. 2014. No. 156. P. 242–248. DOI: 10.1016/j.fcr.2013.10.004.
9. Koua A. P., Baig M. M., Oyiga B. C., Léon J., Ballvora A. Fungicide application affects nitrogen utilization efficiency, grain yield, and quality of winter wheat // *Agronomy*. 2021. No. 11. P. 12–95. DOI: 10.3390/agronomy11071295.
10. Carlton R. R., West J. S., Smith P., Fitt B. D. L. A comparison of GHG emissions from UK field crop production under selected arable systems with reference to disease control // *European Journal of Plant Pathology*. 2012. Vol. 133. No. 1. P. 333–351. DOI: 10.1007/s10658-012-9961-0.

11. Aristarkhov A. N. Optimization of plant nutrition and the use of fertilizers in agroecosystems. Moscow: CINAO, 2000. 522 p.
12. Gaitov T. A. Kantyukova E. A. Foliar extra nutrition influence on the yield and the quality of spring wheat grain // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2010. No. 1. P. 32–33.
13. Ledovsky E. N., Doronin V. G. The effect of nitrogen fertilizers and their tank mixtures with herbicides and fungicides on spring wheat productivity // Grain Economy of Russia. 2021. No. 1(1). P. 82–86. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-82-86.
14. Szczepaniak W., Nowicki B., Bełka D., Kazimierowicz A., Kulwicki M., Grzebisz W. Effect of foliar application of micronutrients and fungicides on the nitrogen use efficiency in winter wheat // Agronomy. 2022. No.12 (2). P. 257. DOI: 10.3390/agronomy12020257.
15. Sinitsin S. S., Kolmakov Yu. V., Ovchinnikov I. P., Biryukov A. I. Increasing the production and sale to the state of high-quality grain of soft and durum wheat in the Omsk region: recommendations. Omsk: Knizhnoe Izdatelstvo, 1984. 111 p.
16. Antonov V. G. Influence of foliar top dressings on the yield and grain quality of spring wheat in the conditions of the Chuvash Republic. Author's abstract diss. ... Cand. Sc. (Agr.). Cheboksary: Chuvash State Agricultural Academy, 2005. 18 p.
17. Nechaeva N. M. Methods for increasing the yield and quality of spring hard and soft wheats in the conditions of the southwestern part of the Central Chernobyl Region. Author's abstract diss. ... Cand. Sc. (Agr.). Belgorod: Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Belgorod State Agricultural Academy", 2003. 20 p.
18. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kolos, 1979. 416 p.
19. Guidelines for state testing of fungicides, antibiotics and seed dressers for agricultural crops. Moscow: Kolos, 1985. 41 p.
20. Accounting and identification of pests and diseases according to the method of VNIIZR. Voronezh: VNIIZR, 1984. 276 p.

UDC 632.952+633 (571.1)

Ledovsky E. N., Doronin V. G.

FUNGICIDES AND THEIR TANK MIXTURES WITH FERTILIZERS IN WHEAT CROPS IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

Summary. Combination of technological operations aimed to combat diseases and grain crops foliar feeding is of considerable scientific and practical interest. This technique is beginning to be widely used by manufacturers in the region, but there is no real assessment of its effectiveness. The purpose of the research, therefore, was to reveal the effect of the use of fungicides in tank mixtures with nitrogen and complex fertilizers on their biological effectiveness and spring wheat yield under conditions of the southern forest-steppe of the Omsk region. The studies were carried out in 2018-2020 on the second crop after fallow. Crop rotation: bare fallow – spring wheat – spring wheat – barley. The soil of the experimental plot – chernozem-meadow, heavy loamy. It was a two-factor field experiment. Square of fields – 25 m², fourfold replication. The scheme of the experiment included 12 options. We studied the effectiveness of chemical fungicides and their tank mixtures with carbamide (10 and 15 kg/ha of physical weight), liquid complex fertilizer Agree's "Nitrogen" (3 l/ha), as well as foliar top dressing with fertilizers without fungicides. During research studies, weather conditions of the growing seasons varied significantly. In 2018, in May to August period, Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) was 1.31; in 2019 – 0.99; in 2020 – 0.67. In 2018–2020, foliar top dressing of spring wheat with carbamide slightly reduced the development of leaf-stem infections; moreover, there was a tendency to grain yield increment by 0.25-0.43 t/ha. In 2020, the development of rust species was moderate and yield increase – significant (by 0.70-1.15 t/ha). During all years of research, treatment with complex fertilizer Agree's "Nitrogen" contributed to yield increase from 0.50 to 1.35 t/ha. The use of carbamide and liquid complex fertilizer Agree's "Nitrogen" in the tank mixture with fungicides did not reduce their (fungicides) biological

effectiveness, but frequently even increased it. The greatest yield increase, compared to control, was observed in variants fungicide + carbamide (10 kg/ha) or fungicide + Agree's "Nitrogen" – from 0.72 to 1.74 t/ha. Hence, we can recommend these techniques for spring wheat growing in the southern forest-steppe of the Western Siberia.

Keywords: *spring wheat (*Triticum aestivum* L.), leaf and stem infections, biological effectiveness, fungicide, foliar feeding, fertilizers, productivity.*

Ледовский Евгений Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защиты растений, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, Россия, г. Омск, пр. Королёва, 26; e-mail: evgeniy_nl@mail.ru.

Доронин Владимир Георгиевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защиты растений, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, Россия, г. Омск, пр. Королёва 26; e-mail: 55asc@bk.ru.

Ledovsky Evgeniy Nikolaevich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the plant protection Laboratory, Omsk Agrarian Research Center; 26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: evgeniy_nl@mail.ru.

Doronin Vladimir Georgievich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the plant protection Laboratory, Omsk Agrarian Research Center; 26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: 55asc@bk.ru

Дата поступления в редакцию – 18.02.2022.

Дата принятия к печати – 12.07.2022.

УДК 631.316.022.2

EDN NTFUHU

Камбулов С. И.^{1,2}, Божко И. В.¹, Пархоменко Г. Г.¹, Бабенко О. С.²

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ МЕЛКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»;

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Реферат. В процессе работы на почвообрабатывающие сельскохозяйственные агрегаты оказывают влияние внешние факторы, такие как неравномерность рельефа поля, а также силы инерции от неустановившегося режима работы. Все вышеперечисленное влияет на устойчивость выполнения технологического процесса обработки почвы. Динамические показатели рабочего органа определяются моделями его колебаний в вертикальной, продольной и поперечной плоскости проекции. Так как непосредственное измерение величин перемещений рабочего органа в вышеуказанных плоскостях в процессе работы вызывает определенные трудности, оценка интенсивности колебаний производится по ускорениям. Цель исследований заключается в определении динамических показателей рабочего органа, обеспечивающих устойчивость протекания технологического процесса мелкой обработки почвы. В ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”» был разработан рабочий орган для мелкой обработки почвы, включающий в себя стойку, подпятник, и накладку для изменения угла заточки стойки. Исследования по определению динамических показателей проводили на экспериментальной установке в полевых условиях по стерневому фону озимой пшеницы после дискования в один след. Установлено, что средние значения ускорений рабочего органа для мелкой обработки почвы практически близки к нулю ($-0,22-0,29$ g – в вертикальном направлении; $0,38-0,94$ g – в продольном направлении; $-0,23-0,08$ g – в поперечном направлении) при критических значениях $\max +1$ g = $44,25$ g, $\min -1$ g = $-52,88$ g, что позволяет сделать заключение об устойчивом протекании технологического процесса мелкой обработки почвы выполняемого рабочим органом.

Ключевые слова: мелкая обработка почвы, рабочий орган, динамические показатели, условия устойчивости, технологический процесс.

Для цитирования: Камбулов С. И., Божко И. В., Пархоменко Г. Г., Бабенко О. С. Динамические показатели рабочего органа для мелкой обработки почвы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 66–74. EDN: NTFUHU.

For citation: Kambulov S. I., Bozhko I. V., Parkhomenko G. G., Babenko O. S. Dynamic parameters of working body for shallow tillage // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 66–74. EDN: NTFUHU.

Введение

На почвах с благоприятными агрофизическими физико-механическими свойствами рекомендуется [1] минимальная обработка почвы в севообороте (мелкая мульчирующая). В настоящее время для этой цели применяют почвообрабатывающие машины, функционирующие с высокой скоростью движения.

При взаимодействии с обрабатываемой средой рабочий орган испытывает динамическое давление, пропорциональное квадрату скорости движения почвообрабатывающей машины [2]. Динамические процессы рабочих органов приобретают более сложный характер, обусловленный изменчивостью физико-механических свойств почвы. Динамические характеристики почвообрабатывающих

машин можно улучшить благодаря совершенствованию конструкции рабочих органов.

Устройства с улучшенными динамическими характеристиками, предлагаемые авторами [3, 4], позволяют обеспечить изменение углов и линейных размеров в допустимых пределах, что приводит к улучшению качества работы и снижению затрат. Вследствие неоднородности почвы и изменчивости её физико-механических свойств, жёсткости конструкции возникают колебания рабочих органов.

Авторы [5] установили, что рабочие органы в процессе работы совершают колебательные движения в направлении следования трактора. Такие колебания совершаются как вдоль направления следования, так и перпендикулярно ему. Количественно колебания рабочих органов можно оценить инерционными силами от динамического давления обрабатываемой среды или ускорениями в продольном, поперечном и вертикальном направлениях.

Авторами [6] предложен метод определения инерционных сил рабочего органа, возникающих относительно рамы почвообрабатывающей машины при жёстком креплении к стойке.

Установлено [7] влияние колебаний в вертикальной плоскости на стабильность глубины обработки почвы, которая выражается среднеквадратическим отклонением от установленной. Также установлено, что значительные колебания почвообрабатывающих органов в горизонтальной плоскости ведут к увеличению образования в верхнем слое почвы пылевидных эрозионно-опасных частиц, что противоречит агротехническим требованиям к культиваторам.

При этом колебания могут затухать при наличии сильных диссипативных свойств обрабатываемой среды [8].

При наличии слабых диссипативных свойств обрабатываемой среды, количественно оценить которые можно по соотношению, приведённому авторами [9], невозможно снижение колебаний рабочего органа благодаря их затуханию при взаимодействии с почвой. Кроме этого, вследствие возникающих колебаний рабочего органа возможна потеря устойчивости.

Авторы [10] отмечают, что потеря устойчивости рабочего органа при высокой скорости движения особенно заметна на криволинейных участках траектории движения.

Потеря устойчивости провоцирует увод в сторону рабочего органа культиватора, и как следствие, повреждение культурных растений [11, 12] и ухудшение качественных показателей технологического процесса [13].

Метод исследования динамических характеристик [14] состоит в определении параметров почвообрабатывающей машины или рабочего органа [15], обеспечивающих его заданную траекторию движения. Обеспечение стабилизации движения почвообрабатывающей машины благодаря устойчивости рабочих органов культиватора позволяет снизить затраты от потери урожая сельскохозяйственных культур на 10 % [16].

В ходе исследований авторы [17] установили, что гранулометрический состав почвы оказывает влияние на генерирование колебаний.

Ускорение рабочих органов в вертикальном направлении, по мнению авторов [18], может стать причиной изменения параметров затылочной фаски стрелчатой лапы, что приводит к ухудшению не только агротехнических показателей, но и к увеличению тягового сопротивления почвообрабатывающей машины.

С целью оптимизации конструкции и повышения эффективности работы почвообрабатывающих рабочих органов необходимо установить закономерности изменения колебаний [19].

Автором [20] динамические составляющие периодических смещений рабочего органа рассматривались как колебания и измерялись датчиками ускорений. Авторами [21, 22] для этих целей разработана система контрольно-измерительной аппаратуры.

Цель исследований – определение динамических показателей рабочего органа, обеспечивающих устойчивость протекания технологического процесса мелкой обработки почвы.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в отделе механизации растениеводства ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»» в 2020–2021 гг. Объект исследования – рабочий орган для мелкой обработки почвы. Предмет исследования – воздействие динамических показателей рабочего органа на устойчивое выполнение технологического процесса мелкой обработки почвы.

Для достижения поставленной цели в отделе механизации растениеводства АНЦ «Донской» был разработан рабочий орган для мелкой обработки почвы (рисунок 1).

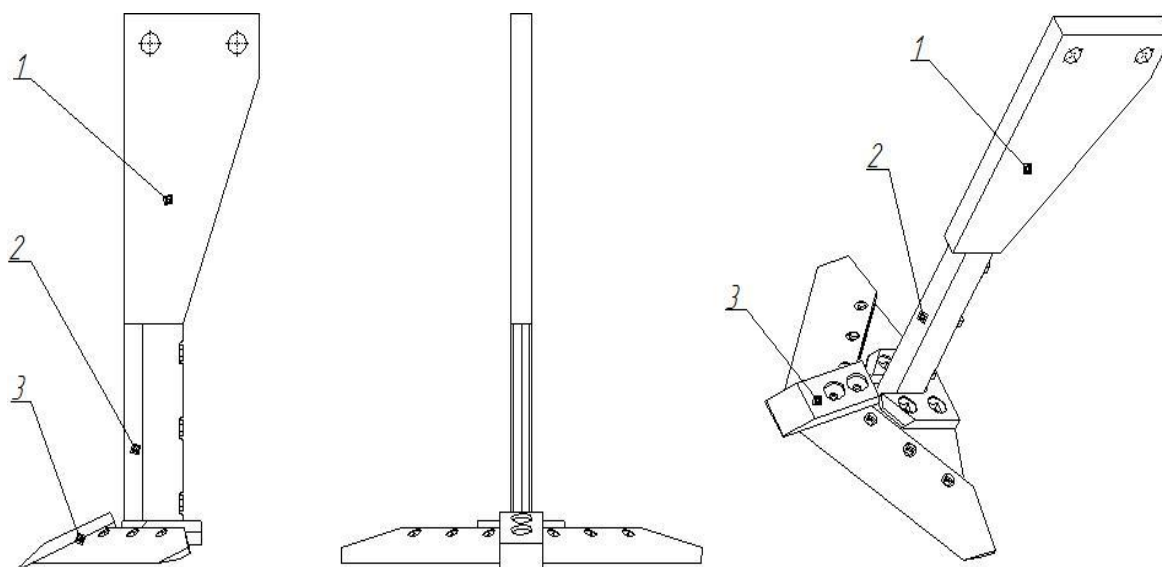


Рисунок 1 – Схема рабочего органа для мелкой обработки почвы

Примечание. 1 – стойка рабочего органа; 2 – накладка; 3 – подпятник.

Исследования по определению динамических показателей рабочего органа проводили на экспериментальной установке.

В качестве датчиков ускорений для определения устойчивости хода рабочего органа использовали акселерометры (рисунок 2), установленные в вертикальном, продольном и поперечном направлениях относительно крепления рабочего органа.

Градуировку акселерометров производили в лабораторных условиях.

Исследования по определению динамических показателей осуществляли на установочных скоростях мобильного энергостредства (Т-150К). Установочные скорости при работе с культиваторами для различных режимов работы составляют 6,84, 8,20 и 11,37 км/ч. Эти диапазоны скоростей выбраны из условий качественного выполнения технологического процесса мелкой обработки почвы с наименьшими энергозатратами.

Определение динамических показателей функционирования рабочего органа для мелкой обработки почвы проводили по стерневому фону озимой пшеницы после дискования в один след.



Рисунок 2 – Датчики ускорений – акселерометры

Результаты и их обсуждение

Динамические показатели рабочего органа определяются моделями его колебаний в вертикальной, продольной и поперечной плоскости проекции. Следует отметить, что стабильность работы почвообрабатывающих агрегатов зависит от инерционных сил, оказывающих воздействие на рабочий орган, в силу неравномерности хода.

Оценку динамических показателей рабочего органа в процессе работы производили по показателям ускорений.

Равномерность хода и глубину обработки характеризуют ускорения в вертикальной и продольной плоскости. С точки зрения качества обработки почвы, выдержанности ширины захвата, существенными являются ускорения в поперечной плоскости.

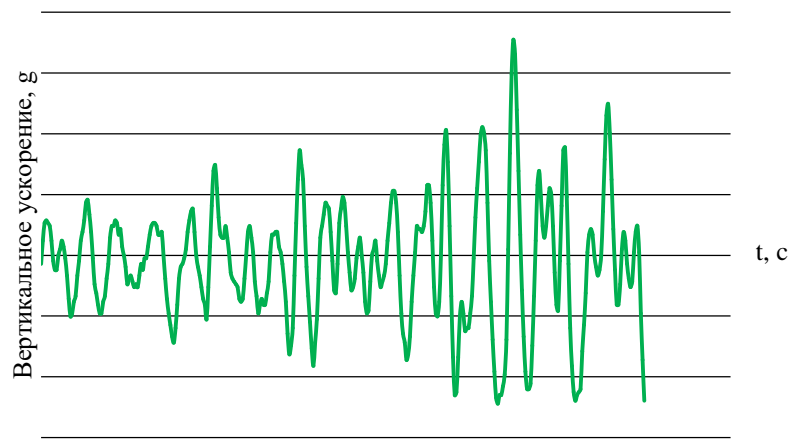
Предельные значения показателей ускорений определяют критические значения, при которых происходит нарушение в устойчивой работе сельскохозяйственных агрегатов или их дальнейшая работа становится практически невозможной. Критические максимальные и минимальные значения, полученные при градуировке датчиков ускорений, составляют: $max +1 g = 44,25 g$, $min -1 g = -52,88 g$.

Средние значения ускорений, полученные в ходе исследований, представлены в таблице 1.

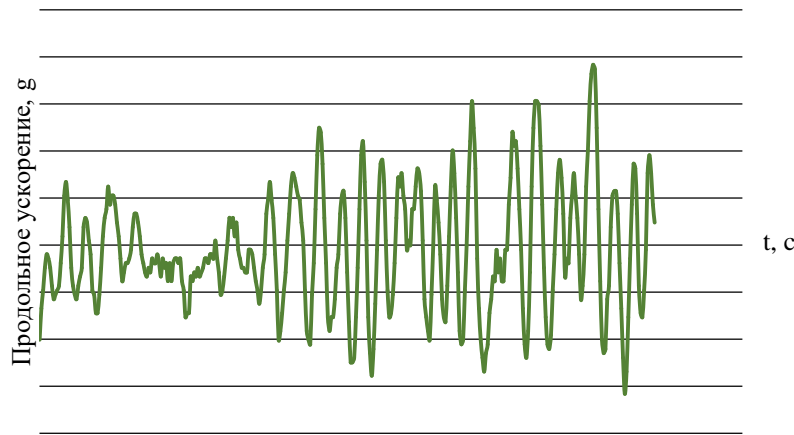
Таблица 1 – Средние значения ускорений рабочего органа для мелкой обработки почвы

Скорость, км/ч	Направление ускорения		
	вертикальное, g	продольное, g	поперечное, g
6,84	-0,22	0,38	-0,23
8,20	0,05	0,57	-0,14
11,37	0,29	0,94	0,08

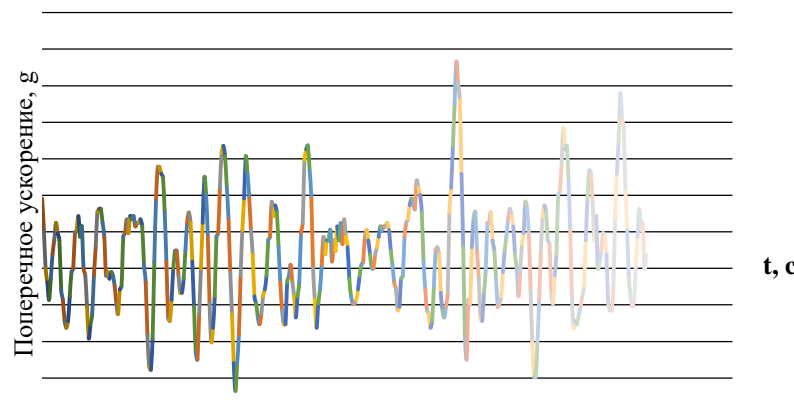
Анализ полученных данных показывает, что средние значения ускорений близки к нулю ($-0,22-0,29 g$ – в вертикальном направлении; $0,38-0,94 g$ – в продольном направлении; $-0,23-0,08 g$ – в поперечном направлении) при критических значениях, полученных при градуировке $max +1 g = 44,25 g$, $min -1 g = -52,88 g$. Это позволяет сделать заключение об устойчивом выполнении технологического процесса мелкой обработки почвы рабочим органом. Более наглядно процесс изменения ускорений представим в виде графиков (рисунок 3).



а



б



в

Рисунок 3 – Графики реализации процесса изменения ускорений

Примечание. а – в вертикальном направлении; б – в продольном направлении; в – в поперечном направлении.

Как видно из графиков реализации процесса изменения ускорений, значения, полученные в ходе экспериментальных исследований, далеки от критических значений, полученных при градуировке.

Выводы

В результате проведения исследований по определению динамических показателей устойчивого выполнения технологического процесса мелкой обработки почвы рабочим органом по оценочному показателю ускорений установлено, что средние значения ускорений близки к нулю ($-0,22-0,29 g$ – в вертикальном направлении; $0,38-0,94 g$ – в продольном; $-0,23-0,08 g$ – в поперечном) при критических значениях $max +1 g = 44,25 g$, $min -1 g = -52,88 g$.

Так как ускорение является знакопеременным показателем, а его значения, полученные в ходе экспериментальных исследований, находятся около нуля, то это свидетельствует об устойчивом выполнении технологического процесса мелкой обработки почвы рабочим органом.

Литература

1. Трофимова Т. А. Основные принципы проектирования системы обработки почвы в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора, члена-корреспондента ВАСХНИЛ М.И. Сидорова и 70-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора Н.И. Зезюкова: «Биологизация земледелия: перспективы и реальные возможности». Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. С. 7–13.
2. Сыромятников Ю. Н. Обоснование параметров рыхлителя почвообрабатывающей машины стратификатора // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31. № 2. С. 257–273. DOI: 10.15507/2658-4123.031.202102.257-273.
3. Джаббаров Н. И., Добринов А. В., Семенова Г. А. Определение энерготехнологических параметров динамических почвообрабатывающих агрегатов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017. № 49. С. 252–259.
4. Джаббаров Н. И., Максимов Д. А., Семенова Г. А. Оценка тягово-динамических показателей почвообрабатывающих агрегатов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017. № 93. С. 53–64.
5. Старовойтов С. И. О тенденции развития почвообрабатывающей техники // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию памяти научной школы по проблеме обработки почвы в Восточной Сибири, к.с.-х.н., профессора Александра Георгиевича Белых: «Современное состояние и перспективы инновационного развития обработки почвы в Восточной Сибири». п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2019. С. 116–126.
6. Гапич Д. С., Косильников Р. А., Чумаков С. А. Теоретико-экспериментальный метод определения массово-инерционных показателей рабочего органа почвообрабатывающего орудия // Материалы Национальной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований в АПК: от теории к практике». Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2017. С. 28–33.
7. Гапич Д. С., Фомин С. Д., Ширяева Е. В. Динамика движения упруго закрепленного рабочего органа культиваторного МТА // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 10. С. 28–32. DOI: 10.17816/0321-4443-66331.
8. Косильников Р. А., Гапич Д. С., Назаров Е. А., Моторин В. А., Денисова О. А. Определение диссипативных характеристик почвенного фона // Сельский механизатор. 2020. № 12. С. 12–13.
9. Гапич Д. С., Фомин С. Д., Денисова О. А. Энергетические и качественные показатели работы культиваторного МТА в режиме автоколебаний рабочих органов // Известия МГТУ МАМИ. 2015. Т. 1. № 4(26). С. 17–20.
10. Устинов Н. Н., Булатов Ф. Р., Маратканов А. А. Теоретическое обоснование устойчивости движения рабочего органа культиватора по криволинейной траектории // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4(90). С. 127–130.
11. Бартенев И. М., Кургалин С. Д., Туровский Я. А., Лысыч М. Н. Перспективная конструкция многофункционального культиватора для склонов с автоматической биометрически корректируемой системой контроля поперечной устойчивости // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 2(18). С. 158–165. DOI: 10.12737/111990.

12. Сазонов М. В. Анализ технологической устойчивости хода комбинированного рабочего органа по глубине обработки почвы // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции: «Инновационные достижения науки и техники АПК» Кинель: Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2017. С. 666–673.
13. Федоров С. Е., Жалнин А. А., Жалнин Н. А., Полункин А. А. Повышение качества поверхностной обработки почвы // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2020. № 4(48). С. 121–127. DOI: 10.36508/RSATU.2020.48.4.017.
14. Донцов И. Е., Лысыч М. Н. Определение силовых параметров возмущенного движения почвообрабатывающих орудий в полевых условиях // Вестник КрасГАУ. 2017. № 4(127). С. 89–95.
15. Пархоменко Г. Г., Пархоменко С. Г. Силовой анализ механизмов перемещения рабочих органов почвообрабатывающих машин по заданной траектории // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 1. С. 47–54. DOI: 10.17816/0321-4443-66395.
16. Валиев А. Р., Матвеев И. Н., Щитов С. В. Снижение полных энергозатрат за счет повышения устойчивости движения агрегата // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. Т. 10. № 3(37). С. 72–76. DOI: 10.12737/14760.
17. Гапич Д. С., Эвиев В. А., Косильников Р. А., Чумаков С. А. Проблемные вопросы повышения энергоэффективности МТА с упруго закрепленными рабочими органами // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1(49). С. 312–318. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-01-312-318.
18. Маликов В. Н., Ишков А. В., Дмитриев С. Ф., Сагалаков А. М., Катасонов А. О., Козлова В. Н., Тихонский Н. Д. Оценка напряженно-деформированного состояния стрелчатой лапы с использованием компьютерного 3D-моделирования // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. 2021. Т. 5. № 2. С. 53–61.
19. Джаббаров Н. И., Сергеев А. В., Эвиев В. А., Очиров Н. Г. Закономерности изменения амплитуды колебаний и вероятностных оценок тягового сопротивления почвообрабатывающих рабочих органов // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 4(48). С. 42–49.
20. Игнатенко В. И. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния пружинных стоек культиватора // Вестник Донского государственного технического университета. 2009. № 1. С. 142–150.
21. Al-Suhaibani S. A., Al-Janobi A. A. and Al-Majhadi Y. N. Development and evaluation of tractors and tillage implements instrumentation system // American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2010. Vol. 3. Iss. 2. P. 363–371. DOI: 10.3844/ajeassp.2010.363.371.
22. Askari M., Komarizade M. H., Nikbakht A. M., Nobakht N., Teimourlou R. F. A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements // Research in Agricultural Engineering. 2011. Vol. 57. Iss. 4. P. 128–136. DOI: 10.17221/16/2011-RAE.

References

1. Trofimova T. A. Basic principles of designing a soil treatment system in adaptive landscape agriculture systems // Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 105th anniversary of the birth of Doctor of Agricultural Sciences, Professor, corresponding member of Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences (VASKhNIL) M.I. Sidorov and the 70th anniversary of the birth of Doctor of Agricultural Sciences, Professor N.I. Zezyukov: “Biologization of agriculture: prospects and real opportunities”. Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2019. P. 7–13.
2. Syromyatnikov Yu. N. Substantiation of the parameters of a soil tillage machine ripper // Engineering Technologies and Systems. 2021. Vol. 31. No. 2. P. 257–273. DOI: 10.15507/2658-4123.031.202102.257-273.
3. Dzhaborov N. I., Dobrinov A. V., Semenova G. A. Determination of energy-technological parameters of dynamic tillage units // Izvesniya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2017. No. 49. P. 252–259.
4. Dzhaborov N. I., Maksimov D. A., Semenova G. A. Assessment of traction and dynamic indicators of soil tilling units // Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products. 2017. No. 93. P. 53–64.
5. Starovoitov S. I. About the trend of development of the soil-cultivating equipment // Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of the memory of the scientific school on the problem of tillage in Eastern Siberia, Cand. Sc. (Chem.), Professor Aleksandr Georgievich Belykh “Current state and prospects for innovative development of tillage in Eastern Siberia”. Molodezhny settlement: Irkutsk State Agrarian University A.A. Yezhevsky, 2019. P. 116–126.
6. Gapich D. S., Kosulnikov R. A., Chumakov S. A. Theoretical and experimental method for determining the mass-inertial indicators of the working body of a tillage tool // Materials of the National scientific and practical conference “Actual directions of scientific research in the agro-industrial complex: from theory to practice”. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2017. P. 28–33.

7. Gapich D. S., Fomin S. D., Shiryaeva E. V. Dynamics of the movement of the elastically fixed working body of the cultivator machine-tractor aggregates // *Traktory i sel'hoz mashiny (Tractors and Agricultural Machinery)*. 2017. No. 10. P. 28–32. DOI: 10.17816/0321-4443-66331.
8. Kosulnikov R. A., Gapich D. S., Nazarov E. A., Motorin V. A., Denisova O. A. Determination of dissipative characteristics of the soil background // *Selskiy Mehanizator*. 2020. No. 12. P. 12–13.
9. Gapich D. S., Fomin S. D., Denisova O. A. Energetic and quality data in the deviate cultivating machine-tractor unit in the working bodies avto-oscillations mode // *Izvestiya MGTU MAMI*. 2015. Vol. 1. No. 4(26). P. 17–20.
10. Ustinov N. N., Bulatov F. R., Maratkanov A. A. Theoretical substantiation of the stability of the movement of the working body of the cultivator along a curvilinear trajectory // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021. No. 4(90). P. 127–130.
11. Bartenev I. M., Kurgalin S. D., Turovsky Ya. A., Lysych M. N. Promising design multipurpose cultivator to slopes with automatic corrected biometric control system lateral stability // *Forestry Engineering Journal*. 2015. Vol. 5. No. 2(18). P. 158–165. DOI: 10.12737/111990.
12. Sazonov M. V. Analysis of the technological stability of the course of the combined working body according to the depth of tillage // *Collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference "Innovative achievements of science and technology of the agro-industrial complex"*. Kinel: Samara State Agricultural Academy, 2017. P. 666–673.
13. Fedorov S. E., Zhalnin A. A., Zhalnin N. A., Polunkin A. A. Improving the quality of surface tillage // *Vestnik Riazanskogo Gosudarstvennogo Agrotehnologicheskogo Universiteta im. P. A. Kostycheva*. 2020. No. 4(48). P. 121–127. DOI: 10.36508/RSATU.2020.48.4.017.
14. Dontsov I. E., Lysych M. N. Determining power parameters of the oscillating motion of tillers in the field // *Bulletin of KrasGAU*. 2017. No. 4(127). P. 89–95.
15. Parkhomenko G. G., Parkhomenko S. G. Force analysis of mechanisms of tillage machines working elements following a specified path // *Traktory i sel'hoz mashiny (Tractors and Agricultural Machinery)*. 2018. No. 1. P. 47–54. DOI: 10.17816/0321-4443-66395.
16. Valiev A. R., Matveev I. N., Shchitov S. V. Reduction of the total power consumption through increasing the unit motion stability // *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2015. Vol. 10. No. 3(37). P. 72–76. DOI: 10.12737/14760.
17. Gapich D. S., Eviev V. A., Kosulnikov R. A., Chumakov S. A. Problematic issues of improving energy efficiency of MTA with elastically fixed working bodies // *Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2018. No. 1(49). P. 312–318. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-01-312-318.
18. Malikov V. N., Ishkov A. V., Dmitriev S. F., Sagalakov A. M., Katasonov A. O., Kozlova V. N., Tikhonsky N. D. Estimation of the stress-deformed state of the lancet paw using computer 3D simulation // *High-performance computing systems and technologies*. 2021. Vol. 5. No. 2. P. 53–61.
19. Dzhaborov N. I., Sergeev A. V., Eviev V. A., Ochirov N. G. Regularities of changing the amplitude of vibrations and probabilistic estimates of traction resistance of soil tillage tools // *Don agrarian science bulletin*. 2019. No. 4(48). P. 42–49.
20. Ignatenko V. I. Experimental research of stress-strain state spring strut cultivator // *Vestnik of Don State Technical University*. 2009. No. 1. P. 142–150.
21. Al-Suhaibani S. A., Al-Janobi A. A., Al-Majhadi Y. N. Development and evaluation of tractors and tillage implements instrumentation system // *American Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2010. Vol. 3. Iss. 2. P. 363–371. DOI: 10.3844/ajeassp.2010.363.371.
22. Askari M., Komarizade M. H., Nikbakht A. M., Nobakht N., Teimourlou R. F. A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements // *Research in Agricultural Engineering*. 2011. Vol. 57. Iss. 4. P. 128–136. DOI: 10.17221/16/2011-RAE.

UDC 631.316.022.2

Kambulov S. I., Bozhko I. V., Parkhomenko G. G., Babenko O. S.

DYNAMIC PARAMETERS OF WORKING BODY FOR SHALLOW TILLAGE

Summary. In the course of work, soil-cultivating agricultural units are affected by such external factors as uneven field relief, as well as inertia forces from the unsteady operating mode. All of the above impact directly on the carrying out a technological process of shallow tillage. The dynamic parameters of the working body are determined by the models of its oscillations in the vertical, longitudinal and transverse projection planes. Since the direct measurement of the displacements of the working body in the above planes during operation causes certain difficulties, the assessment of the oscillation intensity is made by accelerations. The purpose of the research was to determine the dynamic parameters of the working body, ensuring the sustainable flow of the technological process of shallow tillage.

Scientists of the SSE Agricultural Research Center “Donskoy” designed the working body for shallow tillage, which included a stand, a thrust bearing and an overlay for changing the sharpening angle of the stand. Studies to determine the dynamic parameters were carried out on an experimental unit in the field on the winter wheat stubble after disking in one track. As a result of the research, it was found that the average values of the accelerations of the working body for shallow tillage are practically close to zero ($-0.22-0.29$ g in the vertical direction; $0.38-0.94$ g in the longitudinal direction; $-0.23-0.08$ g in the transverse direction) at the critical values of $\max +1$ g= 44.25 g, $\min -1$ g= -52.88 g. This allows us to conclude that the technological process of shallow tillage performed by the working body is stable.

Keywords: *shallow tillage, working body, dynamic indicators, stability conditions, technological process.*

Камбулов Сергей Иванович, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; профессор кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции АПК», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»; 344003, Россия, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1; e-mail: kambulov.s@mail.ru.

Божко Игорь Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; e-mail: i.v.bozhko@mail.ru.

Пархоменко Галина Геннадьевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru.

Бабенко Ольга Сергеевна, ассистент кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции АПК», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»; 344003, Россия, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1; e-mail: lelya.babenko.90@mail.ru.

Kambulov Sergey Ivanovich, Dr. Sc. (Tech.), chief researcher of the Department of mechanization of crop production, structural unit North-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture (SKNIIMESH), SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina Str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; professor of the department “Technologies and equipment for processing agricultural products”, FSBEI HE “Don State Technical University”; 1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, Rostov Region, 344003, Russia; e-mail: kambulov.s@mail.ru.

Bozhko Igor Vladimirovich, Cand. Sc. (Tech.), senior researcher of the Department of mechanization of crop production, structural unit North-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture (SKNIIMESH), SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina Str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: i.v.bozhko@mail.ru.

Parkhomenko Galina Gennadiyevna, Cand. Sc. (Tech.), leading researcher of the Department of mechanization of crop production, structural unit North-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture (SKNIIMESH), SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina Str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru.

Babenko Olga Sergeevna, assistant of the Department “Technologies and equipment for processing agricultural products”, FSBEI HE “Don State Technical University”; 1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, Rostov Region, 344003, Russia; e-mail: lelya.babenko.90@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 11.05.2022.

Дата принятия к печати – 17.06.2022.

УДК 633.174/175:631.527

EDN OJTQPT

Капустин С. И.^{1,2}, Володин А. Б.¹, Капустин А. С.³**ГЕТЕРОЗИСНАЯ СЕЛЕКЦИЯ СОРГО-СУДАНКОВЫХ ГИБРИДОВ**¹ ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»;² ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»;³ ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Реферат. Внедрение в производство новых адаптированных к засушливым условиям сорго-суданковых гибридов способствует стабилизации продуктивности зеленой и сухой массы по годам, что определяет актуальность исследований. Цель исследований – уточнение схемы селекции исходного материала, создание новых сорго-суданковых гибридов и их родительских форм, оценка количественных признаков урожайности зеленой массы, скороспелости, показателей габитуса растений, уровня истинного гетерозиса у новых комбинаций, возможности рентабельного семеноводства. Материалом изучения являлись две стерильные линии (Зерста 90С, А-63), три сорта суданской травы (Спутница, Ника, София) и пять, полученных на их основе, новых сорго-суданковых гибридов (Кирым, Тонус, Боярин, Гусар, Лидер). Стандарт – гибрид Гвардеец. Исследования проводили в 2015–2021 гг. Методами насыщающих скрещиваний и топкросса в Северо-Кавказском федеральном научном аграрном центре созданы стерильные линии Зерста 90С и А-63, методами семейно-группового и индивидуального отбора получены фертильные отцовские формы-восстановители – новые сорта суданской травы Спутница Ника, София. Наименьший период всходы–выметывание получен у гибридов, созданных с участием сортов суданской травы София (55,5–59,0 дней) и Спутница (56,7–61,3 дней). В среднем за 2015–2021 гг. максимальная урожайность зеленой массы за два укоса установлена у гибридов Кирым (50,3 т/га), Боярин (49,1 т/га), Гусар (48,4 т/га). Уровень истинного гетерозиса зеленой массы наиболее высокие значения имел у новых комбинаций Кирым, Тонус, Боярин и Лидер (17,5–20,3 т/га или 61,5–72,0 %). В период созревания семян наибольшая высота растений установлена у гибридов Боярин (273 см), Гусар (272 см) и Кирым (269 см). Уровень истинного гетерозиса высоты растений у этих гибридов составил соответственно 77,5 см, 75,0 см и 59,5 см (39,6 %, 38,1 % и 28,4 %). У этих вариантов получена максимальная толщина стебля (1,38–1,40 см). Самые высокие показатели длины листа (75–77 см) и облиственности растений (33,0–34,1 %) у гибридов Гвардеец и Кирым, где в качестве материнской формы использована стерильная линия Зерста 90С.

Ключевые слова: сорго (*Sorghum Moench*), селекция, гетерозис, стерильная линия, сорт, суданская трава (*Sorghum sudanense L.*), гибрид, урожайность, высота растений.

Для цитирования: Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Гетерозисная селекция сорго-суданковых гибридов // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 75–83. EDN: OJTQPT.

For citation: Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Heterosis breeding of sorghum-sudan grass hybrids // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 75–83. EDN: OJTQPT.

Введение

Часто повторяющиеся в степной зоне, особенно во второй половине лета засушливые явления делают неустойчивым получение продукции животноводства [1, 2]. Поэтому развитие кормопроизводства сосредоточено на совершенствовании структуры посевов кормовых культур, имеющих высокую засухоустойчивость и

стабильность урожаев по годам [3]. Сорго-суданковые гибриды соответствуют этим критериям. Они имеют высокую облиственность, хорошее качество сена и зеленой массы, побегообразование на протяжении вегетации. Поэтому после скашивания растения восстанавливают срезанные побеги и при благоприятных условиях дают два–три укоса [4–7]. В засушливых регионах Юга России благодаря своему потенциалу эта культура эффективно использует инсоляцию и фотосинтетические ресурсы, при правильном возделывании в любой год обеспечивает стабильные урожаи. Сорго-суданковые гибриды обладают высокой отавообразовательной способностью, высокими темпами первоначального роста, не повреждаются тлей и бактериальной пятнистостью, дают нежную зеленую массу, с содержанием листьев до 35 %, которая содержит до 11 % протеина в расчете на сухое вещество. Листья – наиболее ценная часть растений при использовании на сено, зеленый корм, силос. Площадь поверхности одного листа составляет 200–500 см². Серо-зеленая окраска центральной жилки листа свидетельствует о сочности сердцевины стебля.

Для создания высокогетерозисных гибридов целесообразно подбирать родительские формы с высокой комбинационной способностью [8, 9]. Селекция с помощью маркеров генетически снижает содержание синильной кислоты в растениях сорго-суданковых гибридов [10, 11]. С использованием методов трансгенной селекции возможно усиление засухоустойчивости [12]. У гибридов усиливается процесс фотосинтеза в листьях [13]. Межвидовые сорго-суданковые гибриды благодаря генетической неоднородности родительских форм обладают высоким уровнем истинного гетерозиса по урожайности зеленой массы и сена, превосходя средний уровень их гомозиготных родительских инбредных форм [14–16].

Селекционерами ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» создан исходный материал и получены новые сорго-суданковые гибриды, имеющие хорошо развитую корневую систему, глубиной более 2 м, сочностебельный, цилиндрический стебель, который при благоприятных условиях достигает высоты более 2,5–3 м, растения отличаются высокой энергией кущения [2, 4, 6, 7].

Цель исследований – уточнение схемы селекции исходного материала, оценка количественных признаков урожайности зеленой массы, скороспелости и высоты растений, уровня истинного гетерозиса у лучших новых сорго-суданковых гибридов, приспособленных к выращиванию в засушливых условиях Центрального Предкавказья.

Задача исследований: создать новые сорго-суданковые гибриды и их родительские формы, пригодные для практического использования, с высокими показателями продуктивности, качества сена и зеленой массы, содержанием аминокислот, облиственности растений, рентабельным семеноводством.

Материалы и методы исследований

Методом полевых и лабораторных опытов в 2015–2021 гг. в ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (г. Михайловск Ставропольского края) осуществили создание и изучение селекционного материала сорго-суданковых гибридов. Почва опытного поля – мицеллярно-карбонатный, среднесуглинистый чернозем с глубиной гумусного профиля 100–120 см и содержанием гумуса в пахотном слое 3,2 %. Наличие подвижных элементов минерального питания в почве среднее. Среднегодовое количество осадков – 550 мм, из которых 329 мм за период май–сентябрь. Среднемесячная температура воздуха за этот период составляет 18,4 °С, но в годы исследований она была выше и составила: 19,5 °С в 2016 г.; 20,1–20,6 °С – в 2015, 2017, 2019 и 2021 гг.; 20,8–21,0 °С в 2018 и 2020 гг. Количество осадков за май–сентябрь в 2015, 2018, 2019 и 2020 гг. было меньше нормы и варьировало в пределах 214–240 мм. В 2016 и 2021 гг. осадков выпало значительно

больше нормы – соответственно 385 и 449 мм. Такие разнообразные климатические условия позволили выявить и всесторонне изучить морфобиологические свойства и признаки создаваемых гибридов и их родительских форм.

Материалом изучения являлись две стерильные линии (Зерста 90С, А-63), три сорта суданской травы (Спутница, Ника, София), созданные в Северо-Кавказском ФНАЦ. Семена сорго и суданской травы высевали сеялкой РС-1М на глубину 3–4 см с междурядьями 70 см. Высевали питомники самоопыленных линий, исходного материала, селекционный и оценки новых гибридов по 1–2 ряда площадью 5–10 м².

Выведение стерильных аналогов основано на том, что ЦМС передается образцам-закрепителям стерильности методом насыщающих скрещиваний с отбором типичных растений для данных опылителей, но стерильных по пыльце. Так получены стерильные линии, используемые при создании сорго-суданковых гибридов:

– Зерста 90С выведена насыщающим скрещиванием стерильной линии зернового сорго а-803 закрепителем стерильности Зерста 90.

– А-63 создана методом отбора элитного растения из сорта сахарного сорго Ставропольское 63. При проверке растений на ЦМС выявили закрепитель стерильности. Методом топкросса создана стерильная линия А-63.

– Княжна (А-3622) выведена методом насыщающих скрещиваний стерильной линии Зерста 38А закрепителем стерильности В-3622.

Методом насыщающих скрещиваний получены также стерильные линии Зерста 38А, А-3615, А-3529 и ряд других. Они имеют хорошую выравненность растений по высоте, одновременное наступление спелости зерна, устойчивы к полеганию, обеспечивают высокую урожайность зерна, что важно для рентабельного семеноводства.

В проведенных исследованиях в качестве отцовских форм-восстановителей фертильности используются новые сорта суданской травы – Спутница, Ника, София и др. Они выведены методом индивидуального и семейно-группового отбора продуктивных и скороспелых растений высокой интенсивности начального роста из линий суданской травы 7473 и других. Новые сорта суданской травы обладают высокой комбинационной способностью.

В питомнике гибридизации проводили создание новых сорго-суданковых гибридов с последующим отбором лучших вариантов с высокой продуктивностью зеленой массы, большим содержанием протеина, жира, БЭВ, аминокислот и рентабельным семеноводством. Подбор стерильных и фертильных образцов осуществляли по признаку совпадения фаз развития и наличия хозяйственно ценных признаков и свойств. Ежегодно выполняли по 90–120 скрещиваний с последующим изучением в следующем году полученных под пергаментными изоляторами семян. Путем визуального наблюдения и учетов фенотипических и морфологических признаков для уменьшения нагрузки на другие питомники при оценке новых гибридов осуществляли жесткую выбраковку менее ценных образцов.

В годы проведения исследований в коллекционном питомнике ежегодно высевали в среднем 122 образца, из которых устанавливали варианты с интенсивным первоначальным ростом растений, высотой растений, высокой облиственностью, урожайностью зеленой массы. Задачей гибридного питомника является выделение линий из изучаемых гибридов с помощью самоопыления и отбора лучших растений. В селекционном питомнике (96 образцов) доводили до константного состояния варианты с высокой оценкой их на комбинационную способность и реакцию на ЦМС. При этом образцы (23), которые выделяли как закрепители стерильности, высевали в питомник стерильных линий.

Создание высокогетерозисных сорго-суданковых гибридов предусматривает подбор родительских форм с высокой комбинационной способностью. Исследования по селекции новых гибридов осуществляются по полной схеме селекционного процесса, предусматривающего отбор нового исходного материала, получение стерильных линий сорго и восстановителей фертильности – новых сортов суданской травы. Эта схема предусматривает питомники исходного материала, включающего коллекционные и гибридные образцы, создание самоопыленных и стерильных линий, гибридизацию, государственное испытание полученных гибридов [17].

В ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» по вышеуказанной схеме селекционного процесса созданы стерильные линии Зерста 90С, А-63, а также восстановители фертильности – новые сорта суданской травы Спутница, Ника, София. Результаты исследований свидетельствуют, что эти родительские формы в наибольшей степени обеспечили высокие показатели истинного гетерозиса и продуктивности у полученных на их основе сорго-суданковых гибридов.

Самые лучшие и перспективные гибриды (13 образцов) в сравнении со стандартом Гвардеец оценивали в трехрядковых питомниках предварительного и конкурсного испытания в трех и четырехкратной повторности площадью по 30 м². Стандарт располагали через 15 номеров. Наблюдения и учеты проводили в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур на протяжении трех лет [18]. Оценку качества зеленой массы и наличие аминокислот в абсолютно сухом веществе осуществляли в сертифицированной научной лаборатории «Корма и обмен веществ» ФГОУ ВО «Ставропольского ГАУ». Показатели истинного гетерозиса определяли на основании усреднённых данных родительских форм и превышения над ними у полученных гибридов F₁. Статистическую обработку морфологических и урожайных данных проводили методом дисперсионного анализа [19]. Сорго-суданковые гибриды Гвардеец и Боярин в 2021 и 2022 гг. внесены в Государственный реестр селекционных достижений РФ, новый гибрид Гусар в 2021 г. передан на Государственное сортоиспытание, остальные комбинации выделены в конкурсное испытание.

Результаты и их обсуждение

Наименьший период всходы–выметывание отмечен у гибридов, созданных с участием сортов суданской травы София (55,5–59,0 дней) и Спутница (56,7–61,3 дней). Большинство новых сорго-суданковых гибридов относятся к среднеранним и среднеспелым. Период «всходы – выметывание» у них составляет соответственно 53–59 и 60–64 дней.

Высота растений на 30 день вегетации – важный показатель получения высокого урожая зеленой массы первого и второго укосов. Максимальные значения этого признака (82,0–89,7 см) зафиксированы у гибридов Гвардеец и Боярин, созданных с участием отцовского сорта Спутница. Эти комбинации отличаются высоким первоначальным темпом роста и хорошей отавностью. В период созревания семян наибольшая высота растений установлена у гибридов Боярин (273 см), Гусар (272 см), Кирилл (269 см), стандарта Гвардеец (262,0 см). Уровень истинного гетерозиса высоты растений у этих гибридов составил соответственно 77,5 см, 75,0 см, 59,5 см, 54,0 см (39,6 %; 38,1 %, 28,4 %, 25,9 %). Кроме этого, у них была максимальная толщина стебля (1,38–1,40 см). Самая высокая длина листа (75–77 см) и облиственность растений (33,0–34,1 %) была у гибридов Гвардеец и Кирилл, где в качестве материнской формы использована стерильная линия Зерста 90С (таблица 1).

Сорго-суданковые гибриды на зеленый корм убирали за семь–десять дней до начала выбрасывания метелок в период с лучшим соотношением высокой урожайности и качественных показателей (повышенное содержание протеина, каротина, высокая переваримость и низкое содержание клетчатки).

Таблица 1 – Хозяйственно-биологические признаки сорго-суданковых гибридов (среднее за 2015-2021 гг.)

Линия, сорт, гибрид	Входы–выметывание, сут	Высота растений, см		Средняя высота родительских форм, см	Уровень гетерозиса высоты растений		Толщина стебля, см	Длина листа, см	Облиственность растений, % (II укос)
		на 30 день вегетации	при созревании семян		см	%			
стерильные линии									
Зерста 90С	65	46	169	-	-	-	1,47	72	21,2
А-63	63	39	144	-	-	-	1,43	62	21,0
суданская трава									
Спутница	56	68	247	-	-	-	1,04	72	34,0
Ника	57	72	250	-	-	-	1,08	74	36,8
София	53	70	234	-	-	-	0,97	67	39,9
сорго-суданковые гибриды									
(Зерста 90С × Спутница) Гвардеец (St.)	56,7	89,7	262	208,0	54,0	25,9	1,35	75	33,0
(Зерста 90С × Ника) Кирим	61,5	74,0	269	209,5	59,5	28,4	1,38	77	34,1
(Зерста 90С × София) Тонус	55,5	79,5	251	201,5	49,5	24,6	1,35	70	32,4
(А-63 × Спутница) Боярин	61,3	82,0	273	195,5	77,5	39,6	1,39	69	32,4
(А-63 × Ника) Гусар	68,5	72,0	272	197,0	75,0	38,1	1,40	68	33,1
(А-63 × София) Лидер	59,0	70,0	242	189,0	53,0	28,0	1,33	64	32,3

В степной зоне возделывание на сено предусматривает рядовой, а на зеленый корм – широкорядный способ посева.

Урожайность зеленой массы изучаемых сорго-суданковых гибридов (таблица 2) зависела от высоты растений и продолжительности вегетационного периода. Наибольшие ее показатели наблюдали у комбинаций Кирим (50,3 т/га), Боярин (49,1 т/га), Гусар (48,8 т/га). У стандарта Гвардеец величина этого признака составила 46,6 т/га. Уровень истинного гетерозиса зеленой массы максимальные значения имел у гибридов Кирим, Тонус, Боярин и Лидер (17,5–20,3 т/га или 61,5–72,0 %) и 15,7 т/га (50,8 %) у стандарта Гвардеец.

В среднем за 2015–2021 гг. урожайность зеленой массы второго укоса была на 0,8–2,3 т/га выше, чем при первом скашивании и зависела от сроков выпадения осадков в летний период. Урожайность спелого зерна стерильных материнских линий Зерста 90С и А-63 составили 3,34–3,41 т/га, что обеспечило рентабельное семеноводство изучаемых гибридов.

Новый сорго-суданковый гибрид Боярин имеет прямостоячую форму куста, стебель тонкий, полусочный, длина листа до 70 см, ширина до 8 см. Гибрид холодостойкий, имеет высокую пластичность к условиям выращивания. Устойчив к прикорневому полеганию и ломкости стебля. В 1 кг сухого корма содержится 10 % переваримого протеина, 29 % клетчатки, 2,1 % жира, что больше, чем у стандартного гибрида Гвардеец на 0,3 % переваримого протеина, 1,4 % клетчатки, 0,2 % жира. В соке зеленой массы 5–7 % растворимых сахаров. Гибрид интенсивного типа.

Таблица 2 – Урожайность и уровень гетерозиса сорго-суданковых гибридов и их родительских форм (среднее за 2015–2021 гг.)

Линия, сорт, гибрид	Урожайность зеленой массы, т/га			Средняя урожайность родительских форм, т/га	Уровень гетерозиса зеленой массы		Урожайность сухой массы, т/га	Урожайность спелого зерна, т/га
	укос		сумма двух укосов		т/га	%		
	I	II						
стерильные линии								
Зерста 90С	-	-	23,7	-	-	-	-	3,34
А-63	-	-	22,5	-	-	-	-	3,41
НСР ₀₅ , т/га			1,7					0,21
суданская трава								
Спутница	20,4	17,8	38,2	-	-	-	8,54	1,80
Ника	22,1	19,8	41,9	-	-	-	9,24	2,01
София	16,1	17,8	33,9	-	-	-	7,79	1,57
сорго-суданковые гибриды								
(Зерста 90С × Спутница) Гвардеец (St.)	22,7	23,9	46,6	30,9	15,7	50,8	9,62	2,73
(Зерста 90С × Ника) Кирим	24,0	26,3	50,3	32,8	17,5	53,4	10,54	2,81
(Зерста 90С × София) Тонус	23,1	23,9	47,0	28,8	18,2	63,2	10,15	2,29
(А-63 × Спутница) Боярин	25,2	23,9	49,1	30,4	18,7	61,5	9,96	2,78
(А-63 × Ника) Гусар	23,5	25,3	48,8	32,2	16,6	51,6	10,06	2,86
(А-63 × София) Лидер	23,3	25,2	48,5	28,2	20,3	72,0	10,55	2,54
НСР ₀₅ , т/га	1,5	1,5	2,2				0,43	

Селекция новых сорго-суданковых гибридов в настоящее время в значительных объемах осуществляется в АНЦ «Донской» (г. Зерноград) [3, 5, 20] и НИИ кукурузы и сорго (г. Саратов) [8]. Закономерности создания новых гибридов в условиях Ставропольского края согласуются с методами их получения в этих учреждениях.

Выводы

В Северо-Кавказском ФНАЦ методами насыщающих скрещиваний и топкросса созданы стерильные линии Зерста 90С и А-63, методами семейно-группового и индивидуального отбора получены фертильные отцовские формы-восстановители – новые сорта суданской травы Спутница, Ника, София. Сорта суданской травы созданы в 2015–2019 гг.

В среднем за 2015–2021 гг. максимальная урожайность зеленой массы установлена у гибридов Кирим (50,3 т/га), Боярин (49,1 т/га), Гусар (48,8 т/га), что выше показателей стандарта на 3,7 т/га, 2,5 т/га и 2,5 т/га. Самый высокий уровень истинного гетерозиса зеленой массы отмечен у новых комбинаций Кирим, Тонус, Боярин и Лидер (17,5–20,3 т/га, или 61,5–720 %).

В период созревания семян наибольшая высота растений установлена у гибридов Боярин (273 см), Гусар (272 см) и Кирим (269 см), что на 7,0–11,0 см больше значений стандарта. Уровень истинного гетерозиса высоты растений у этих гибридов составил соответственно 77,5; 75,0 и 59,5 см (39,6; 38,1; и 28,4 %).

Литература

1. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Эффективность использования однолетних яровых кормовых культур в засушливых условиях Центрального Предкавказья // Таврический вестник аграрной науки. 2017. № 3 (11). С. 72–79.
2. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С., Стройный А. М. Продуктивность суданской травы в Центральном Предкавказье // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 1 (17). С. 62–70. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-1-17-62-70.
3. Шишова Е. А., Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е. Создание и хозяйственно-биологическая характеристика сорго-суданковых гибридов // Зерновое хозяйство России. 2019. № 2 (62). С. 27–31. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-62-2-27-31.
4. Шепель Н. А. Селекция и семеноводство гибридного сорго. Ростов-на-Дону: Ростовский университет, 1985. 256 с.
5. Алабушев А. В., Анипенко Л. Н., Гурский Н. Г., Коломиец Н. Я., Костылев П. И., Мангуш П. А., Алабушева О. И. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика). Самара: Книга, 2003. 368 с.
6. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Process of the selection of sorghum-sudank hybrids in arid conditions steppe zone // International Journal of Ecosystems and Ecology Science. 2020. No. 10 (2). P. 331–336. DOI: 10.31407/ijees10.2.
7. Жукова М. П., Володин А. Б., Капустин С. И., Капустин А. С., Донец И. А. Комплексная оценка новых сортов суданской травы и сорго-суданковых гибридов // Вестник АПК Ставрополя. № 3 (27). 2017. С. 33–37.
8. Kibalnik O. P. Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35- 1A types of cytoplasmic male sterility // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017. Vol. 21. Iss. 6. P. 651–656. DOI: 10.18699/VJ17.282.
9. Lu X.-P., Liu D.-D., Wang S.-Y., Han P.-A., Lü E.-S. Genetic effects and heterosis prediction model of *Sorghum bicolor* × *S. sudanense* grass // Acta Agronomica Sinica (China). 2014. Vol. 40. Iss. 3. P. 466–475 DOI: 10.3724/SP.J.1006.2014.00466.
10. Yu X.-X., Liu Z.-H., Yu Z., Shi Y., Li X.-Y. Development of SSR markers linked to low hydrocyanic acid content in sorghum-sudan grass hybrid based on BSA method // Protein and Peptide Letters. 2016. Vol. 23. Iss. 5. P. 417–423. DOI: 10.2174/0929866523666160322153559.
11. Shkodina E. P., Balun O. V., Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Ecological variety trial of annual forage crops in the Novgorod region // International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES). 2022. Vol. 12. Iss. 2. P. 337–344. DOI: 10.31407/ijees12.204.
12. Zhu Y., Wang X., Huang L., Yao L., Peng D. Transcriptomic identification of drought-related genes and SSR markers in sudan grass based on RNA-seq // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. No. 687. DOI: 10.3389/fpls.2017.00687.
13. Han P.-A., Lu X.-P., Mi F.-G., Zhang R.-X., Li M.-N., Xue C.-L., Dong J., Cong M.-L. Analysis of heterosis in sorghum-sudangrass hybrid seedlings based on proteomics // Acta Agronomica Sinica (China). 2016. Vol. 42. Iss. 5. P. 696–705. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2016.00696.
14. Han P., Lu X., Mi F., Dong J., Xue C., Li J., Han B., Zhang X. Proteomic analysis of heterosis in the leaves of sorghum-sudangrass hybrids // Acta Biochimica et Biophysica Sinica. 2015. Vol. 48. Iss. 2. P. 161–173. DOI: 10.1093/abbs/gmv126.
15. Драпенко М. А. Использование цитоплазматической мужской стерильности для получения гетерозисных семян сорго и сорго-суданковых гибридов // Сборник трудов ВАСХНИЛ: Гетерозис в растениеводстве. Л.: Колос, 1968. С. 280–291.
16. Шепель Н. А. Эффективность гетерозиса при межвидовой гибридизации сорговых // Сборник трудов ВАСХНИЛ: Гетерозис в растениеводстве. Л.: Колос, 1968. С. 268–279.
17. Володин А. Б., Капустин С. И., Капустин А. С. Схема селекции и уровень гетерозиса гибридов сорго сахарного // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1 (25). С. 64–72. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-64-72.
18. Федин М. А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: МСХ СССР, 1985. 267 с.
19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 335 с.
20. Шишова Е. А. Изучение исходного материала суданской травы для создания новых сорго-суданковых гибридов. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Краснодар: Федеральный научный центр риса, 2021. С. 3–22.

References

1. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Annual spring fodder crops use efficiency in dry areas of the central Ciscaucasia // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2017. No. 3 (11). P. 72–79.
2. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S., Stroyny A. M. Productivity of sudangrass in central Ciscaucasia // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2019. No. 1 (17). P. 62–70. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-1-17-62-70.

3. Shishova E. A., Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Romanyukin A. E. Development and economic-biological characteristics sorghum-sudan hybrids // Grain Economy of Russia. 2019. No. 2 (62). P. 27–31. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-62-2-27-31.
4. Shepel N. A. Selection and seed production of hybrid sorghum. Rostov-on-Don: Rostov University, 1985. 256 p.
5. Alabushev A. V., Anipenko L. N., Gursky N. G., Kolomiets N. Ya., Kostylev P. I., Mangush P. A., Alabusheva O. I. Sorghum (selection, seed production, technology, economics). Samara: Kniga, 2003. 368 p.
6. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Process of the selection of sorghum-sudan hybrids in arid conditions steppe zone // International Journal of Ecosystems and Ecology Science. 2020. No. 10 (2). P. 331–336. DOI: 10.31407/ijees10.2.
7. Zhukova M. P., Volodin A. B., Kapustin S. I., Kapustin A. S., Donets I. A. Complex assessment of new varieties sudangrass and sorghum-sudan hybrids // Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2017. No. 3 (27). P. 33–37.
8. Kibalnik O. P. Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35- 1A types of cytoplasmic male sterility // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017. Vol. 21. Iss. 6. P. 651–656. DOI: 10.18699/VJ17.282
9. Lu X.-P., Liu D.-D., Wang S.-Y., Han P.-A., Lü E.-S. Genetic effects and heterosis prediction model of *Sorghum bicolor* × *S. sudanense* grass // Acta Agronomica Sinica (China). 2014. Vol. 40. Iss. 3. P. 466–475. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2014.00466.
10. Yu X.-X., Liu Z.-H., Yu Z., Shi Y., Li X.-Y. Development of SSR markers linked to low hydrocyanic acid content in sorghum-sudan grass hybrid based on BSA method // Protein and Peptide Letters. 2016. Vol. 23. Iss. 5. P. 417–423. DOI: 10.2174/0929866523666160322153559.
11. Shkodina E. P., Balun O. V., Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Ecological variety trial of annual forage crops in the Novgorod region // International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES). 2022. Vol. 12. Iss. 2. P. 337–344. DOI: 10.31407/ijees12.204.
12. Zhu Y., Wang X., Huang L., Yao L., Peng D. Transcriptomic identification of drought-related genes and SSR markers in sudan grass based on RNA-seq // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. No. 687. DOI: 10.3389/fpls.2017.00687.
13. Han P.-A., Lu X.-P., Mi F.-G., Zhang R.-X., Li M.-N., Xue C.-L., Dong J., Cong M.-L. Analysis of heterosis in sorghum-sudangrass hybrid seedlings based on proteomics // Acta Agronomica Sinica (China). 2016. Vol. 42. Iss. 5. P. 696–705. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2016.00696.
14. Han P., Lu X., Mi F., Dong J., Xue C., Li J., Han B., Zhang X. Proteomic analysis of heterosis in the leaves of sorghum-sudangrass hybrids // Acta Biochimica et Biophysica Sinica. 2015. Vol. 48. Iss. 2. P. 161–173. DOI: 10.1093/abbs/gmv126.
15. Dranenko M. A. The use of cytoplasmic male sterility to obtain heterotic seeds of sorghum and sorghum-sudan grass hybrids // Collection of scientific works of V.I. Lenin Academy of Agricultural Sciences (VASKhNIL): Heterosis in crop production. Leningrad: Kolos, 1968. P. 280–291.
16. Shepel N. A. The effectiveness of heterosis in interspecific hybridization of sorghum // Collection of scientific works of V.I. Lenin Academy of Agricultural Sciences (VASKhNIL): Heterosis in crop production. Leningrad: Kolos, 1968. P. 268–279.
17. Volodin A. B., Kapustin S. I., Kapustin A. S. Breeding scheme and heterosis level of sugar sorghum hybrids // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 1 (25). P. 64–72. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-64-72.
18. Fedin M. A. Methods of state variety testing of agricultural crops. Moscow: USSR Ministry of Agriculture, 1985. 267 p.
19. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kolos, 1985. 335 p.
20. Shishova E. A. Studying the source material of sudan grass to create new sorghum-sudan grass hybrid. Abstract diss. ... Cand. Sc. (Agr.). Krasnodar: Federal Research Center for Rice, 2021. P. 3–22.

UDC 633.174/175:631.527

Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A.S.

HETEROSIS BREEDING OF SORGHUM-SUDAN GRASS HYBRIDS

Summary. *Introduction of new sorghum-sudan grass hybrids adapted to arid conditions contributes to stabilization of green and dry mass productivity over the years. This fact determines the relevance of the current research. The aim of the study was to clarify the scheme of source material selection, create new sorghum-sudan grass hybrids and their parental forms, evaluate the quantitative characteristics of such indicators as the yield of green mass, early maturity, plant habitus and level of true heterosis in new combinations, as well as possibility of profitable seed production. Two sterile lines ('Zersta 90C', 'A-63'), three Sudan grass varieties ('Sputnitsa', 'Nika', 'Sofia') and five new*

sorghum-sudan grass hybrids obtained on their basis ('Kirim', 'Tonus', 'Boyarin', 'Gusar', 'Lider') served as the material of the study; standard – hybrid 'Gvardeyets'. Studies were carried out in 2015–2021. In the North Caucasus Federal Agricultural Research Center, by the methods of saturating crosses and topcross, sterile lines 'Zersta 90C and A-63 were created; by the methods of family-group and individual selection – fertile paternal restorative forms, namely new varieties of Sudan grass 'Sputnitsa', 'Nika', 'Sofia'. Hybrids created with the participation of Sudan grass varieties 'Sofia' and 'Sputnitsa' had the shortest interphase period of "germination-heading" – 56.7–61.3 and 55.5–59.0 days, respectively. On average, for the years from 2015 to 2021, the maximum yield of green mass after two cuttings was noted in hybrids 'Kirim' (50.3 t/ha), 'Boyarin' (49.1 t/ha), 'Gusar' (48.4 t/ha). The highest values of the level of true heterosis of this trait had new combinations 'Kirim', 'Tonus', 'Boyarin' and 'Lider' (17.5–20.3 t/ha or 61.5–72.0 %). During the period of seed ripening, the most significant plant height was typical for hybrids 'Boyarin' (273 cm), 'Gusar' (272 cm) and 'Kirim' (269 cm). The level of true heterosis of this studied trait was 77.5, 75.0 and 59.5 cm or 39.6 %, 38.1 % and 28.4 %, respectively. Moreover, the maximum thickness of the stem was also obtained in these variants (1.38–1.40 cm). The leaf length (75–77 cm) and plants leafiness (33.0–34.1 %) had the highest values in hybrids 'Gvardeets' and 'Kirim', in creation of which sterile line 'Zersta 90C' was used as the maternal form.

Keywords: *sorghum (Sorghum Moench), breeding, heterosis, sterile line, variety, Sudan grass (Sorghum Sudanense L.), hybrid, yield, plant height.*

Капустин Сергей Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства сорго, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; доцент кафедры общего земледелия, растениеводства, селекции и семеноводства им. профессора Ф. И. Бобрышева, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»; 355017, Россия, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12; e-mail: sniish@mail.ru.

Володин Александр Борисович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства сорго, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: sniish@mail.ru.

Капустин Андрей Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник центра развития публикационной активности и патентно-лицензионной работы управления науки и технологии, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»; 355017, Россия, Ставропольский край, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1; e-mail: akapustin@ncfu.ru.

Kapustin Sergey Ivanovich, Cand. Sc. (Agr.), associate professor, senior researcher of the Laboratory of selection and primary seed sorghum breeding FSBSI "North Caucasus Federal Agricultural Research Center"; 49, Nikonova str., Mihailovsk, 356241, Russia; associate professor of the Department of general agriculture, plant growing, breeding and seed production named after Professor F.I. Bobryshev, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Stavropol State Agrarian University"; 12, Zootehnicheskii lane, Stavropol, 355017, Russia; e-mail: sniish@mail.ru.

Volodin Aleksandr Borisovich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, head of the Laboratory of selection and primary seed sorghum breeding FSBSI "North Caucasus Federal Agricultural Research Center"; 49, Nikonova str., Mihailovsk, 356241, Russia; e-mail: sniish@mail.ru.

Kapustin Andrey Sergeevich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Center for the development of publishing activity and patent licensing of science and technology; Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "North-Caucasus Federal University"; 1, Pushkin str., Stavropol, 355017, Russia; e-mail: akapustin@ncfu.ru.

Дата поступления в редакцию – 11.05.2022.

Дата принятия к печати – 27.06.2022.

УДК 581.1.036:634.11(471.63)

EDN OKEVWJ

Киселева Г. К., Ульяновская Е. В., Хохлова А. А., Караваева А. В., Схаляхо Т. В.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ ЯБЛОНИ К ЖАРЕ И ЗАСУХЕ В УСЛОВИЯХ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»

Реферат. В условиях локальных климатических изменений у некоторых сортов яблони происходит снижение адаптивности и урожайности, поэтому вопросы устойчивости яблони к повышенным температурам и недостаточной водообеспеченности приобретают особую значимость. Цель исследований – оценить сорта яблони различного эколого-географического происхождения к жаре и засухе по физиолого-биохимическим показателям, выделить сорта с высокой адаптационной устойчивостью для возделывания в условиях Краснодарского Края и использования в селекции. Работу проводили в 2019–2021 гг. в лаборатории физиологии и биохимии растений ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (г. Краснодар). Объекты исследований – сорта яблони: Интерпрайс, Айдаред (Америка) Флорина (Франция), Орфей, Прикубанское (СКЗНИИСиВ, Россия), Лигол (Польша). Сорт Орфей – контроль. Определение содержания пролина и абсцизовой кислоты определяли методом капиллярного электрофореза. Содержание фотосинтетических пигментов находили спектрофотометрическим методом в 85 % ацетоновой вытяжке. По физиолого-биохимическим показателям выделены высокоустойчивые к жаре и засухе сорта яблони Орфей и Прикубанское. В условиях напряженности стрессовых факторов летнего периода (жара и засуха) у этих сортов обнаружено максимальное увеличение содержания пролина (в 3,8–4,0 раз) в сравнении с другими изучаемыми сортами (в 1,9–2,9 раз), свидетельствующее о большей адаптивности листовых тканей. Стабильное содержание суммы хлорофиллов в течение лета свидетельствует о высокой фотосинтетической способности сортов Орфей и Прикубанское. Низкое количественное соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам – 3,1–3,6 у сортов Орфей и Прикубанское в сравнении с другими изучаемыми сортами (в 4,3–4,9 раз) объясняется повышенной защитной функцией каротиноидов в условиях избыточной инсоляции. Сорта Орфей и Прикубанское по физиолого-биохимическим показателям проявили себя более адаптивными к жаре и засухе, и рекомендованы для возделывания в условиях Краснодарского Края и использования в селекции.

Ключевые слова: яблоня домашняя (*Malus domestica* Borkh.), сорт, адаптивность, засухоустойчивость, повышенные температуры, физиолого-биохимические показатели.

Для цитирования: Киселева Г. К., Ульяновская Е. В., Хохлова А. А., Караваева А. В., Схаляхо Т. В. Оценка устойчивости сортов яблони к жаре и засухе в условиях Краснодарского края // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 84–92. EDN: OKEVWJ.

For citation: Kiseleva G. K., Ulyanovskaja E. V., Khokhlova A. A., Karavaeva A. V., Skhalyakho T. V. Evaluation of drought and heat resistance of apple tree varieties under conditions of Krasnodar Krai // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 84–92. EDN: OKEVWJ.

Введение

Почвенно-климатические условия Краснодарского Края благоприятствуют возделыванию сортов яблони с высокими потребительскими качествами плодов.

Однако в последние годы в результате локального изменения климата участилось проявление экстремально высоких температур на фоне продолжительной засухи в летний период. В сложившихся климатических условиях некоторые сорта яблони не успевают адаптироваться к изменяющимся экологическим факторам, происходит снижение их устойчивости, и, в конечном счете урожайности [1].

Поэтому вопросы устойчивости яблони к повышенным температурам и низкой водообеспеченности приобретают особую значимость. В отечественной и зарубежной литературе использование физиолого-биохимических параметров для выделения наиболее устойчивых генотипов различных плодово-ягодных и других культур, в том числе и яблони занимают важное место [2–6].

Повышенные температуры и недостаток воды вызывают значительные изменения большинства физиологических процессов у растений, что отражается на физиолого-биохимических показателях. В процессе эволюции растения выработали различные стратегии и защитные ответы на жару и засуху, чтобы свести к минимуму последствия стрессового воздействия. Ответные реакции генетически детерминированы, отсутствуют в условиях нормального увлажнения и возникают в ответ на действие стрессора.

Яблоня обладает тонкими механизмами сохранения водного гомеостаза при недостаточной водообеспеченности. К ним относится сокращение потерь воды за счет торможения увеличения листовой поверхности, уменьшения площади листовой поверхности, сбрасывания листьев [7]. К важным адаптивным реакциям растений на водный стресс относятся повышение содержания пролина и других осмопротекторов, которые нейтрализуют активные формы кислорода, защищают макромолекулы от повреждения свободными радикалами и поддерживают осмотический потенциал клетки [8].

Показано, что в формирование устойчивости к водному стрессу вовлечено множество генов. Проанализировано несколько белков, транскрипционных факторов, которые участвуют в регуляции ответа на жару и засуху. Так, повышенная экспрессия гена MdATG18a в растениях яблони повышала их устойчивость к засухе [9].

Цель исследований – оценить сорта яблони различного эколого-географического происхождения к жаре и засухе по физиолого-биохимическим показателям, выделить сорта с высокой адаптационной устойчивостью для возделывания в условиях Краснодарского Края и использования в селекции.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2019–2021 гг. на базе коллекционных насаждений ЗАО ОПХ «Центральное» (г. Краснодар), лаборатории физиологии и биохимии растений ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Центра коллективного пользования технологичным оборудованием по направлениям: геномные и постгеномные технологии, физиолого-биохимические и микробиологические исследования, почвенные, агрохимические и экотоксикологические исследования, пищевая безопасность.

Объекты исследований: Сорта Интерпрайс, Флорина, Орфей, 2013 г. посадки на подвое СК2 при схеме посадки $4 \times 1,2$. Сорта Айдаред, Лигол, Прикубанское 2010 г. посадки на подвое СК4 при схеме посадки $4,5 \times 0,9$. Сорт Орфей – контроль.

Интерпрайс – сорт американской селекции. Плодоношение ежегодное. Плоды массой 180–200 г. Отличается высокой зимостойкостью, средней засухоустойчивостью, высоким иммунитетом к парше, монилиальному ожогу, жваччине и мучнистой росе.

Флорина – сорт французской селекции. Отличается высокой урожайностью и морозостойкостью. Обладает иммунитетом к парше, мучнистой росе, монилиозу и бактериальному ожогу. Устойчив в засухе и низким температурам (до -20°C .)

Орфей – сорт селекции Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства (СКЗНИИСиВ, Россия). Отличается сдержанным ростом, иммунитетом к парше, морозоустойчивостью, засухоустойчивостью, скороплодностью. Плоды достигают массы 220 г.

Айдаред – сорт американской селекции. Отличается средней зимостойкостью, высокой засухоустойчивостью, не устойчив к парше. Плодоношение регулярное.

Лигол – сорт польской селекции. Отличается высокой урожайностью, ранним вступлением в плодоношение, достаточной зимостойкостью, устойчивостью против парши, склонен к периодичности плодоношения.

Прикубанское – сорт селекции СКЗНИИСиВ (Россия). Характерна высокая засухоустойчивость, морозоустойчивость выше средней, относительно устойчив к парше. Плоды достигают массы 210–250 г.

Листья отбирали со средней части однолетних побегов (7–9 лист от основания побега) в среднем ярусе кроны равномерно по всей ее окружности. Исследования проводили в трехкратной повторности на десяти листьях каждого сорта. Содержание пролина и абсцизовой кислоты определяли методом капиллярного электрофореза на приборе Капель 104Р согласно методике, основанной на получении электрофореграммы с помощью прямого детектирования поглощающих компонентов пробы [10, 11]. Содержание фотосинтетических пигментов находили спектрофотометрическим методом в 85 % ацетоновой вытяжке [12]. Статистическую обработку полученного экспериментального материала проводили согласно методике [13]. Расчеты выполняли с использованием программного пакета Microsoft Excel 2010.

Почвенный покров опытного участка представлен выщелоченными предкавказскими черноземами. Содержание гумуса (по Тюрину) – 3,5 %.

Климат Краснодарского Края – умеренно-континентальный, характеризуется избытком солнечной радиации при умеренном увлажнении. Амплитуда колебания температуры в течение года возможна в пределах от -37°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая сумма активных температур воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$ составляет 3300–3600 $^{\circ}\text{C}$, длительность безморозного периода 185–195 дней. Метеорологические условия различались в годы исследований.

В 2019 г. засуха отмечалась в августе (осадки – 11,0 мм), при этом максимальная температура воздуха составляла $+39,5^{\circ}\text{C}$ (выше среднемноголетних значений на $4,7^{\circ}\text{C}$). В 2020 г. наиболее жарким был июль, максимальная температура воздуха поднималась до $+38,4^{\circ}\text{C}$ (выше среднемноголетних значений на $4,1^{\circ}\text{C}$), а наиболее засушлив был август (осадки – 10,7 мм). В 2021 г. максимальная температура воздуха в июле достигала $37,7^{\circ}\text{C}$ (выше среднемноголетних значений на $4,3^{\circ}\text{C}$), осадки – 28,4 мм, а в августе выпало 75 мм осадков.

Результаты и их обсуждение

В условиях высокотемпературного и водного стрессов растения пытаются восстановить метаболический гомеостаз за счет образования осмопротекторов (пролина, сахарозы). Благодаря осмотической регуляции при засухе сохраняются тургор и открытость устьиц – следовательно, возможность нормального роста и поддержания физиологических процессов.

В наших исследованиях содержание пролина у различных сортов яблони в июне варьировало от 5,1 мкг/г сырой массы у сорта Флорина до 8,3 мкг/г сырой массы у сорта Прикубанское. В течение лета шло накопление этой аминокислоты, и

максимальное его содержание пришлось на август. Максимальное увеличение пролина в сравнении с июнем обнаружено у сортов Орфей и Прикубанское – в 4,0 и 3,8 раз соответственно. У других сортов это увеличение было в 1,9–2,9 раз (таблица).

Таблица – Содержание пролина в листьях яблони в течение лета (средние значения за 2019–2021 гг.), мкг/г сырой массы

Сорт	Июнь	Июль	Август
Интерпрайс	5,8 ± 0,5	8,2 ± 0,1	11,2 ± 0,5
Флорина	5,1 ± 0,2	9,6 ± 0,8	12,8 ± 0,7
Орфей	7,3 ± 0,6	18,5 ± 1,3	29,3 ± 0,8
Айдаред	6,2 ± 1,3	13,1 ± 0,6	18,1 ± 0,5
Лигол	5,2 ± 0,8	10,7 ± 0,2	12,5 ± 1,5
Прикубанское	8,3 ± 0,9	19,8 ± 1,3	31,6 ± 1,2
НСР ₀₅	0,52	0,86	1,03

Содержание пролина зависит от уровня абсцизовой кислоты (АБК), которая активирует его синтез и накопление. АБК вызывает отток ионов калия из замыкающих клеток устьиц, в результате чего устьица закрываются и предотвращается опасность высыхания листовой поверхности [14].

В периоды с особо недостаточной водообеспеченностью (август 2019–2020 гг.) проявилась четкая зависимость между содержанием пролина и накоплением АБК (рисунок 1).

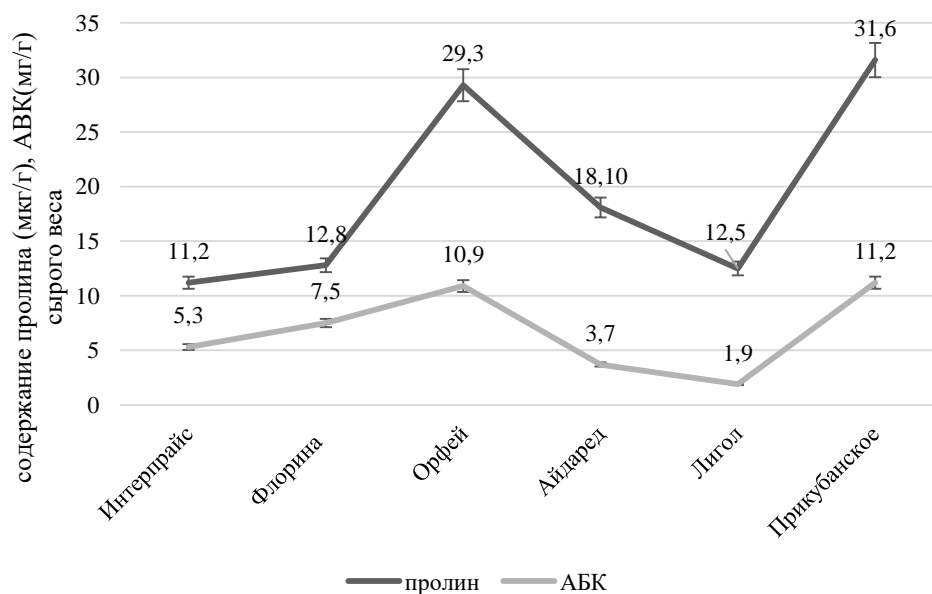


Рисунок 1 – Содержание пролина и абсцизовой кислоты в листьях яблони в периоды с особо недостаточной водообеспеченностью (среднее за август 2019–2020 гг.)

Жара и засуха приводят к перегреву листовых тканей, угнетению процессов фотосинтеза, снижению содержания хлорофилла у неустойчивых растений. Так, у устойчивых к засухе сортов яблони содержание хлорофилла в листьях оставалось стабильным в период водного стресса в сравнении с неустойчивыми сортами [2].

В проведенных нами исследованиях содержание суммы хлорофиллов (a+b) являлось сортовой особенностью и варьировало от 4,87 мг/г сухого веса у сорта Лигол

до 7,01 мг/г сухого веса у сорта Айдаред. Наиболее стабильным содержание суммы хлорофиллов (a+v) в течение лета оставалось у сортов Орфей, Прикубанское, свидетельствующее о более высокой фотосинтетической способности в условиях засухи и повышенной адаптивности листовых тканей (рисунок 2).

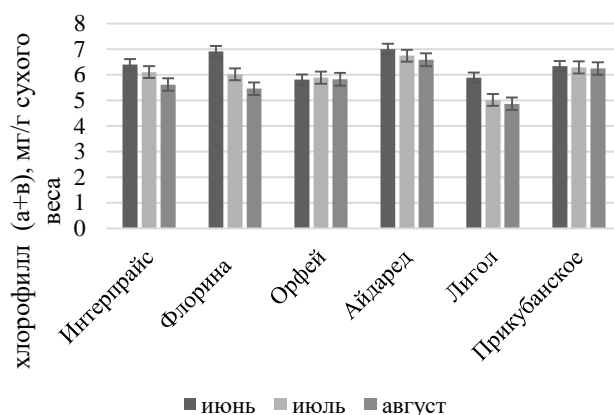


Рисунок 2 – Содержание суммы хлорофиллов (a+v) в листьях яблони в течение лета 2019–2021 гг.

Примечание. НСР₀₅: июнь – 1,53; июль – 2,84; август – 1,53.

Стрессовые условия летнего периода также повлияли на другие фотосинтетические пигменты – каротиноиды. Как известно, каротиноиды участвуют в поглощении света в качестве дополнительных пигментов и выполняют защитную функцию, предотвращая разрушение хлорофилла от необратимого фотоокисления. Изменение количества каротиноидов при постоянном содержании хлорофиллов может быть связано с адаптацией пигментного аппарата к изменению интенсивности освещения и осадков [5].

В наших исследованиях содержание каротиноидов существенно не изменялось в течение лета и составляло 1,06–2,04 мг/г сухого веса (рисунок 3).

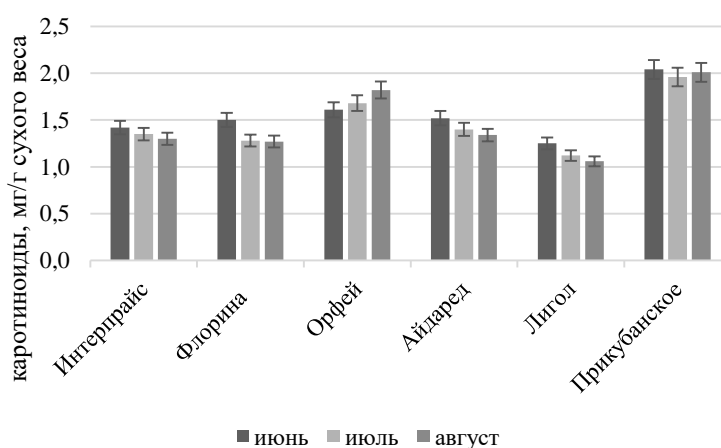


Рисунок 3 – Содержание каротиноидов в листьях яблони в течение лета 2019–2021 гг.

Примечание. НСР₀₅: июнь – 2,12; июль – 1,57; август – 0,91.

Изменялось только соотношение между фотосинтетическими пигментами. Благодаря увеличению доли каротиноидов в пигментном составе листа сорта Орфей и Прикубанское активировали механизм устойчивости к повышенным температурам и засухе. У этих сортов отмечено наиболее низкое количественное соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам – 3,1–3,6. У других изучаемых сортов это соотношение составляло 4,3–4,9.

Выводы

В результате проведенной физиолого-биохимической оценки устойчивости шести сортов яблони различного эколого-географического происхождения к жаре и засухе выделены высокоустойчивые сорта отечественной селекции Орфей и Прикубанское.

В условиях напряженности стрессовых факторов летнего периода (жара и засуха) у этих сортов обнаружено:

- максимальное увеличение содержания пролина (в 3,8–4,0 раз) в сравнении с другими изучаемыми сортами (в 1,9–2,9 раз), свидетельствующее о большей адаптивности листовых тканей;
- стабильное содержание суммы хлорофиллов в течение лета, свидетельствующее о высокой фотосинтетической способности;
- низкое количественное соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам 3,1–3,6 в сравнении с другими изучаемыми сортами (в 4,3–4,9 раз), объясняющееся повышенной защитной функцией каротиноидов в условиях избыточной инсоляции.

Сорта Орфей и Прикубанское проявили себя более адаптивными для возделывания в условиях Краснодарского Края и могут являться источниками устойчивости к жаре и засухе для использования в селекционном процессе.

Литература

1. Ненько Н. И., Киселева Г. К., Ульяновская Е. В., Яблонская Е. К., Караваева А. В. Физиолого-биохимические критерии устойчивости яблони к абиотическим стрессам летнего периода // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54(1). С. 158–168. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.158rus.
2. Bhusal N., Han S.-G., Yoon T.-M. Impact of drought stress on photosynthetic response, leaf water potential, and stem sap flow in two cultivars of bi-leader apple trees (*Malus × domestica* Borkh.) // Scientia Horticulturae. 2019. No. 246. P. 535–543. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.11.021.
3. Luo Y. Y., Li R. X., Jiang Q. S., Bai R., Duan D. Changes in the chlorophyll content of grape leaves could provide a physiological index for responses and adaptation to UV-C radiation // Nordic Journal of Botany. 2019. No. 23 (14). P.1–11. DOI: 10.1111/njb.02314.
4. Панфилова О. В., Голяева О. Д. Физиологические особенности адаптации сортов и отборных форм смородины красной к засухе и повышенным температурам // Сельскохозяйственная биология. 2017. № 52 (5). С. 1056–1064. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.1056rus.
5. Рындин А. В., Белоус О. Г., Маляровская В. И., Притула З. В., Абиляфова Ю. С., Кожевникова А. М. Использование физиолого-биохимических методов для выявления механизмов адаптации субтропических, южных плодовых и декоративных культур в условиях субтропиков России // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 3. С. 40–48. DOI: 10.15389/agrobiology.2014.3.40rus.
6. Bai T., Li Z., Song C., Song S., Jiao J., Liu Y., Dong Z., Zheng X. Contrasting drought tolerance in two apple cultivars associated with difference in leaf morphology and anatomy // American Journal of Plant Sciences. 2019. No. 10(5). P. 709–722. DOI: 10.4236/ajps.2019.105051
7. Bassett C. L., Glenn D. M., Forsline P. L., Wisniewski M. E., Ferrell Jr. R. E. Characterizing water use efficiency and water deficit responses in apple (*Malus × domestica* Borkh. and *Malus sieversii* Ledeb.) M. Roem. // HortScience. 2011. No. 46. P. 1079–1084. DOI: 10.21273/HORTSCI.46.8.1079.
8. Zhu D., Che Y., Xiao P., Hou L., Guo Y., Liu X. Functional analysis of a grape WRKY30 gene in drought resistance // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2018. No. 132 (3). P. 449–459. DOI: 10.1007/s11240-017-1341-1.
9. Sun X., Wang P., Jia X., Huo L.Q., Che R.M., Ma F.W. Improvement of drought tolerance by overexpressing MdATG18a is mediated by modified antioxidant system and activated autophagy in transgenic apple // Plant Biotechnology Journal. 2018. No. 16 (2). P. 545–557. DOI: 10.1111/pbi.12794.
10. Якуба Ю. Ф., Ильина И. А., Захарова М. В., Лифарь Г. В. Методика определения массовой концентрации свободных аминокислот в побегах и листьях плодовых культур и винограда с

применением капиллярного электрофореза // Учебно-методическое пособие «Современные инструментально-аналитические методы исследования плодовых культур и винограда». Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2015. С. 80–86.

11. Ненько Н. И., Сундырева М. А., Шестакова В. В., Якуба Ю. Ф. Методика определения содержания свободной абсцизовой кислоты в листьях плодовых культур и винограда // Учебно-методическое пособие «Современные инструментально-аналитические методы исследования плодовых культур и винограда». Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2015. С. 9–12.

12. Гавриленко В. Ф., Ладыгина М. Е., Хандобина Л. М. Большой практикум по физиологии растений. М.: Высшая школа, 1975, 380 с.

13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.

14. Chen K., Li G. J., Bressan R. A., Song C. P., Zhu J. K., Zhao Y. Abscisic acid dynamics, signaling, and functions in plants // *Journal of Integrative Plant Biology*. 2020. No. 62(1). P. 25–54. DOI:10.1111/jipb.12899.

References

1. Nenko N. I., Kiseleva G. K., Ulyanovskaya E. V., Yablonskaya E. K., Karavaeva A. V. Physio-biochemical criteria for apple tree tolerance to summer abiotic stresses // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]*. 2019. Vol. 54(1). P. 158–168. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.158eng.

2. Bhusal N., Han S.-G., Yoon T.-M. Impact of drought stress on photosynthetic response, leaf water potential, and stem sap flow in two cultivars of bi-leader apple trees (*Malus × domestica Borkh.*) // *Scientia Horticulturae*. 2019. No. 246. P. 535–543. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.11.021.

3. Luo Y. Y., Li R. X., Jiang Q. S., Bai R., Duan D. Changes in the chlorophyll content of grape leaves could provide a physiological index for responses and adaptation to UV-C radiation // *Nordic Journal of Botany*. 2019. No. 23 (14). P.1–11. DOI: 10.1111/njb.02314.

4. Panfilova O.V., Golyaeva O.D. Physiological features of red currant varieties and selected seedling adaptation to drought and high temperatures // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]*. 2017. No. 52 (5). P. 1056–1064. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.1056eng.

5. Ryndin A. V., Belous O. G., Malyarovskaya V. I., Pritula Z. V., Abilfazova Yu. S., Kozhevnikova A. M. Physiological and biochemical approaches in studying adaptation mechanisms of subtropical, fruit and ornamental crops grown in Russian subtropics // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]*. 2014. No. 3. P. 40–48. DOI: 10.15389/agrobiology.2014.3.40eng.

6. Bai T., Li Z., Song C., Song S., Jiao J., Liu Y., Dong Z., Zheng X. Contrasting drought tolerance in two apple cultivars associated with difference in leaf morphology and anatomy // *American Journal of Plant Sciences*. 2019. No. 10(5). P. 709–722. DOI: 10.4236/ajps.2019.105051.

7. Bassett C. L., Glenn D. M., Forsline P. L., Wisniewski M. E., Ferrell Jr. R.E. Characterizing water use efficiency and water deficit responses in apple (*Malus × domestica Borkh.* and *Malus sieversii* Ledeb.) M. Roem. // *HortScience*. 2011. No. 46. P. 1079–1084. DOI: 10.21273/HORTSCI.46.8.1079.

8. Zhu D., Che Y., Xiao P., Hou L., Guo Y., Liu X. Functional analysis of a grape WRKY30 gene in drought resistance // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2018. No. 132 (3). P. 449–459. DOI: 10.1007/s11240-017-1341-1.

9. Sun X., Wang P., Jia X., Huo L.Q., Che R.M., Ma F.W. Improvement of drought tolerance by overexpressing MdATG18a is mediated by modified antioxidant system and activated autophagy in transgenic apple // *Plant Biotechnology Journal*. 2018. No. 16 (2). P. 545–557. DOI:10.1111/pbi.12794.

10. Yakuba Yu. F., Il'ina I. A., Zakharova M. V., Lifar G. V. Method for determining the mass concentration of free amino acids in the shoots and leaves of fruit crops and grapes using capillary electrophoresis // Educational and methodological manual “Modern instrumental and analytical methods for the study of fruit crops and grapes”. Krasnodar: SKZNIISiV, 2015. P. 80–86.

11. Nenko N. I., Sundryeva M. A., Shestakova V. V., Yakuba Yu.F. Method for determining the content of free abscisic acid in the leaves of fruit crops and grapes // Educational and methodological manual “Modern instrumental and analytical methods for the study of fruit crops and grapes”. Krasnodar: SKZNIISiV, 2015. P. 9–12.

12. Gavrilenko V. F., Ladygina M. E., Khandobina L. M. Large workshop on plant physiology. Moscow: Vysshaya shkola, 1975. 380 p.

13. Dospikhov B. A. Methods of fields research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alyans, 2014. 351 p.

14. Chen K., Li G. J., Bressan R. A., Song C. P., Zhu J. K., Zhao Y. Abscisic acid dynamics, signaling, and functions in plants // *Journal of Integrative Plant Biology*. 2020. No. 62(1). P. 25–54. DOI: 10.1111/jipb.12899.

UDC 581.1.036:634.11(471.63)

Kiseleva G. K., Ulyanovskaja E. V., Khokhlova A. A., Karavaeva A. V., Skhalyakho T. V.
**EVALUATION OF DROUGHT AND HEAT RESISTANCE OF APPLE TREE
VARIETIES UNDER CONDITIONS OF KRASNODAR KRAI**

Summary. *Under conditions of local climatic changes, some varieties of apple trees experience a decrease in adaptability and productivity, so the issues of their resistance to elevated temperatures and insufficient water supply are of particular importance. The purpose of the research was twofold: evaluate apple tree varieties of various ecological and geographical origin to heat and drought according to physiological and biochemical parameters; identify varieties with high adaptive resistance for cultivation under conditions of Krasnodar Krai and for use in breeding. The work was carried out in 2019–2021 in the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry of the FSBSI “North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making” (Krasnodar). Research objects – apple tree varieties ‘Enterprise’, ‘Idared’ (USA), ‘Florina’ (France), ‘Orfey’, ‘Prikubanskoe’ (North Caucasian Zonal Research Institute of Horticulture and Viticulture” (SKZNIISiV), Russia), ‘Ligol’ (Poland). Control – variety ‘Orfey’. Proline and abscisic acid content was determined by capillary electrophoresis. The content of photosynthetic pigments was found by spectrophotometric method in 85% acetone extract. According to the physiological and biochemical parameters, apple tree varieties ‘Orfey’ and ‘Prikubanskoye’ were identified as highly resistant to heat and drought. Under conditions of tension of stress factors of the summer period (heat and drought), they showed the maximum increase in the content of proline (by 3.8–4.0 times) in comparison with other studied varieties (by 1.9–2.9 times), which indicates greater adaptability of leaf tissues. The stable content of the sum of chlorophylls during the summer indicates a high photosynthetic ability of the varieties ‘Orfey’ and ‘Prikubanskoe’. The low quantitative ratio of the sum of chlorophylls to carotenoids (3.1–3.6) in ‘Orfey’ and ‘Prikubanskoe’ in comparison with other studied varieties (by 4.3–4.9 times) is explained by the increased protective function of these organic pigments under conditions of excessive insolation. Varieties ‘Orfey’ and ‘Prikubanskoye’ have proved to be more adaptive to heat and drought in terms of physiological and biochemical parameters. They are recommended for cultivation under conditions of Krasnodar Krai and for use in breeding.*

Keywords: *apple tree (Malus domestica Borkh.), variety, adaptability, drought resistance, elevated temperatures, physiological and biochemical parameters.*

Киселева Галина Константиновна, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: galina-kiseleva-1960@mail.ru.

Ульяновская Елена Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией селекции семечковых культур, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: ulyanovskaya_e@mail.ru.

Хохлова Анна Александровна, кандидат биологических наук, научный сотрудник Центра коллективного пользования «Приборно-аналитический», ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: anemona2009@yandex.ru.

Каравеева Алла Витальевна, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: alla.karavaeva.65@mail.ru.

Схалыах Татьяна Вячеславовна, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства,

виноградства, виноделия»; 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: tShalyho@mail.ru.

Kiseleva Galina Konstantinovna, Cand. Sc. (Biol.), associate professor, senior researcher, Laboratory of plant physiology and biochemistry, FSBSI “North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making”; 39, 40 Let Pobedy ave., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: galina-kiseleva-1960@mail.ru.

Ulyanovskaya Elena Vladimirovna, Dr. Sc. (Agr.), head of the Laboratory of pome crops breeding, FSBSI “North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making”; 39, 40 Let Pobedy ave., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: ulyanovska_e@mail.ru

Khokhlova Anna Aleksandrovna, Cand. Sc. (Biol.), researcher at the Center for Collective Use “Instrument-Analytical”; FSBSI “North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making”; 39, 40 Let Pobedy ave., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: anemona2009@yandex.ru.

Karavaeva Alla Vitalievna, junior researcher, Laboratory of plant physiology and biochemistry; FSBSI “North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making”; 39, 40 Let Pobedy ave., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: alla.karavaeva.65@mail.ru.

Skhalyakho Tatyana Vyacheslavovna, junior researcher, Laboratory of plant physiology and biochemistry; FSBSI “North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making”; 39, 40 Let Pobedy ave., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: tShalyho@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 31.03.2022.

Дата принятия к печати – 21.04.2022.

УДК 633.88: 543.85:581.4

EDN RSNQTO

Кривчик Н. С., Невкрытая Н. В., Кривда С. И., Аметова Э. Д., Скипор О. Б.

КОЛЛЕКЦИЯ ШАЛФЕЯ МУСКАТНОГО КАК ИСТОЧНИК ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Основным источником исходного материала в селекционных исследованиях являются специализированные коллекции, в которых представлены образцы флоры разных регионов, сорта, селекционные номера и прочее. Для успешного использования коллекции селекционеру необходимо иметь данные предварительного ее изучения по основным показателям. Цель исследования – характеристика коллекции шалфея мускатного *Salvia sclarea* L. по комплексу основных морфобиологических параметров и показателей продуктивности, в том числе в зависимости от погодных условий года для дальнейшего отбора перспективных для селекции образцов. Коллекция включает 112 образцов, в том числе пять сортов ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (НИИСХ Крыма). Исследование проведено в 2017–2020 гг. в условиях предгорной зоны Крыма в соответствии с методическими рекомендациями для эфиромасличных культур. Отмечена относительно невысокая вариабельность показателей в коллекции ($C_v - 4,8-19,6\%$), что объясняется тем, что большинство образцов прошли разные этапы селекционного отбора. Отмечены существенные колебания отдельных показателей в зависимости от метеоусловий в разные годы. Так, средняя высота растений в коллекции различалась по годам на 46,2 см, урожай соцветий с делянки ($0,6\text{ м}^2$) – на 0,52 г в зависимости от погодных условий в период вегетации растений. Различия в содержании эфирного масла в соцветиях в 2018–2020 гг. менее значительны ($0,70 \pm 0,02\%$, $0,62 \pm 0,02\%$ и $0,73 \pm 0,02\%$ соответственно), что указывает на их более высокую генетическую обусловленность по сравнению с влиянием метеоусловий. Результаты исследования дают общую характеристику коллекции, показывая возможность отбора образцов по основным показателям, ценным для создаваемого сорта. Проведенный анализ позволил выделить образцы, превышающие показатели сортов НИИСХ Крыма, используемых в сельскохозяйственном производстве. Рекомендованы для включения в селекционные исследования 15 образцов, превысивших сорта по одному или нескольким хозяйственно ценным показателям, в том числе пять образцов с массовой долей эфирного масла в соцветиях 0,90–1,06 % от абсолютно сухой массы (у сортов – 0,65–0,88 %).

Ключевые слова: шалфей мускатный *Salvia sclarea* L., коллекция, морфобиологические параметры, урожай соцветий, массовая доля эфирного масла.

Для цитирования: Кривчик Н. С., Невкрытая Н. В., Кривда С. И., Аметова Э. Д., Скипор О. Б. Коллекция шалфея мускатного как источник исходного материала для селекции // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 93–105. EDN: RSNQTO.

For citation: Krivchik N. S., Nevkrytaya N. V., Krivda S. I., Ametova E. D., Skipor O. B. *Salvia sclarea* L. collection as a source of initial material for breeding purposes // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 93–105. EDN: RSNQTO.

Введение

Шалфей мускатный *Salvia sclarea* L. – травянистое растение семейства Яснотковые (Lamiaceae Martinov.). В культуре обычно возделывают двухлетнюю форму. В первый год вегетации образуется розетка листьев, а во второй – генеративная сфера. Образование побегов происходит из спящих почек корневой шейки. Каждый стебель заканчивается соцветием – метелкой, длиной 4–70 см. Цветки крупные, зигоморфные. На поверхности чашечки цветка размещаются экзогенные эпидермального происхождения железки, в которых локализуется эфирное масло. Маслосодержащие железки однотипные – одноклеточные, сидящие на утолщенных к основанию ножках. Имеются железки и на других надземных органах растения, но основное их количество сосредоточено в соцветиях. Шалфей мускатный подвержен быстрой потере эфирного масла, так как эфиромасличные железки плохо защищены и при неблагоприятных условиях легко разрушаются. Плод состоит из четырех темно-шоколадных глянцевых яйцевидной формы орешков, которые созревают неодновременно, что сказывается на их качестве. Орешки (семена), достигнув полной спелости, осыпаются [1, 2].

В культуру шалфей мускатный введен только в 1894 г., хотя используется человеком с глубокой древности. В настоящее время это эфиромасличное растение коммерчески выращивается, в основном, в южных регионах России, Болгарии, Франции и Марокко, с ежегодным производством примерно 150 тонн эфирного масла [3]. Возделывать шалфей мускатный экономически выгодно. Даже в условиях сильной засухи он дает достаточно высокие урожаи соцветий, менее требователен, чем другие культуры, к почвам. В Крыму выращивается с 1929 года. Для возделывания культуры в Крыму наиболее пригодны южные карбонатные черноземы, суглинистые и известково-суглинистые почвы. Шалфей мускатный весьма отзывчив на удобрения [1, 4].

Самой ценной продукцией переработки сырья является эфирное масло, получаемое из соцветий методом паровой дистилляции. Оно имеет приятный аромат, одновременно напоминающий запах амбры, апельсина, бергамота. Основные компоненты – линалилацетат (до 85%) и линалоол (до 25%) [5-7].

В медицине эфирное масло шалфея мускатного используется, благодаря своему антибактериальному, антисептическому, обезболивающему, тонизирующему, противовоспалительному, спазмолитическому, антиоксидантному, мочегонному, иммуномодулирующему, успокаивающему и заживляющему действию [4, 8, 9]. В ароматерапии это растение применяется в качестве релаксанта при лечении стресса, астмы, проблем с пищеварением и менструальным циклом; используется в качестве средства, вызывающего роды [10].

Эфирное масло шалфея мускатного применяется в парфюмерно-косметической и мыловаренной промышленности. В ликероводочном, кондитерском и табачном производствах его используют для ароматизации пива, вина, ликеров, эссенций, кондитерских и табачных изделий [8, 10].

Исследования показали, что шалфей мускатный обладает большим потенциалом для сельского хозяйства благодаря фиторемедиационным, аллелопатическим и инсектицидным свойствам [8]. Так, выявлено, что водный экстракт этого растения с концентрацией 0,1 % оказывает токсическое действие на белокрылку (*Trialeurodes steamariorum*) с летальностью 56,66 % [11]. Под воздействием эфирного масла шалфея мускатного снижается рост мицелия *Verticillium dahliae*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* [12].

Особо богатая эфирным маслом надземная часть растения в период цветения используется в медицине для ванн и аппликаций при полиартрите, остеомиелите,

деформирующем артрозе, трофических язвах. Свежие и сухие соцветия и листья шалфея мускатного употребляют в качестве приправы в кулинарии, для отдушки сыра, чая и других продуктов. В некоторых странах из цветков получают ароматный хмельной напиток. В Мексике, Чили из корней и молодых стеблей готовят ароматные прохладительные напитки, их размалывают в муку для кондитерских изделий. Надземную часть растения добавляют к пиву и вину для придания им мускатного запаха [4].

Семена шалфея мускатного используют для получения жирного масла. Оно является хорошим источником пищевого масла, богатого омега-3-линолевой кислотой [8, 13]. Обладая превосходными техническими свойствами, жирное масло также применяется в керамическом, фарфоровом производстве и идет для изготовления олифы высшего качества.

Шалфей мускатный является прекрасным медоносом. С 1 га плантации шалфея получают до 65–70 кг ароматного меда. Жмых (шрот) от переработки семян на жирное масло является ценным высокобелковым кормом для сельскохозяйственных животных. Компостированные отходы от переработки шалфейного сырья с небольшим количеством суперфосфата – высокоэффективное органоминеральное удобрение [4].

Одним из факторов повышения рентабельности сельского хозяйства является подбор сортов возделываемых культур, обеспечивающих высокую продуктивность получаемого сырья и высокое качество продуктов его переработки.

В отделе эфиромасличных и лекарственных культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (НИИСХ Крыма) традиционно ведется селекционная работа со многими эфиромасличными растениями, в том числе и с шалфеем мускатным. В настоящее время «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию» РФ включает восемь сортов шалфея мускатного. Оригинатором и собственником шести из них является НИИСХ Крыма [14].

Экологические различия регионов возделывания данной культуры, нестабильность метеоусловий требуют наличия сортов, сохраняющих высокие показатели в разных условиях. Это является обоснованием непрерывности проведения селекционных исследований с использованием как традиционных, так и современных эффективных приемов работы. Так, зарегистрированный в 2021 г. сорт шалфея мускатного Селинж, создан в НИИСХ Крыма с использованием биотехнологических приемов получения перспективного селекционного материала [15, 16].

Основным источником исходного материала для селекции в НИИСХ Крыма является специализированная коллекция шалфея мускатного, входящая в состав коллекции генофонда эфиромасличных, пряно-ароматических и лекарственных растений (УНУ № 507515 (<http://www.ckp-rf.ru>) [17].

Цель исследований – характеристика коллекции шалфея мускатного *Salvia sclarea* L. по комплексу основных морфобиологических параметров и показателей продуктивности, в том числе в зависимости от погодных условий года для дальнейшего отбора перспективных для селекции образцов.

Материал и методы исследований

Изучение коллекции шалфея мускатного, включающей 112 образцов, в том числе сорта НИИСХ Крыма – С 785, Ай-Тодор, Крымский поздний, Тайган и Орфей, проведено в 2017–2020 гг. [14]. Коллекция размещается на экспериментальном участке отдела эфиромасличных и лекарственных культур, расположенном в Предгорной зоне Крыма (с. Крымская Роза Белогорского района). Климат региона

умеренно-континентальный. Территория относится к одному из пяти агроклиматических районов – верхнему предгорному, теплому, недостаточно влажному; к северному подрайону с умеренно мягкой зимой [18]. Среднегодовая температура воздуха составляет здесь 10 °С. Продолжительность периода с положительной температурой воздуха – 292 дня в году. Средняя температура самого тёплого месяца, июля – +21 °С, самого холодного, января – –0,8 °С. Возможно максимальное повышение температуры летом до 40 °С и понижение минимальной – зимой до –30–35 °С. Среднеголетняя сумма осадков составляет 498 мм, в период вегетации – 280 мм. Среднегодовая влажность воздуха – 70 %, гидротермический коэффициент – 0,91, что свидетельствует об умеренно-засушливых агроклиматических условиях. Почва в месте проведения исследований – южный карбонатный, тяжелый суглинистый чернозем (рН – 7,0–8,0).

Ежегодно, в 2016–2019 гг., проводили подзимний посев коллекции шалфея мускатного в оптимальные для культуры сроки – в конце ноября. Делянки двухрядковые, длина – 1 м, междурядья – 60 см; площадь делянки – 0,6 м². Повторность опыта двукратная.

Коллекционные образцы шалфея мускатного изучены по количеству растений, цветущих в первый год вегетации и по комплексу основных морфобиологических и хозяйственно ценных признаков во второй год вегетации, в фазе окончания цветения (стадия технологической спелости) согласно разработанным методикам [19, 20]. Проанализированы следующие морфобиологические параметры и показатели продуктивности: продолжительность прохождения фаз развития, высота растения от корневой шейки до верхней мутовки центрального соцветия включительно, количество генеративных побегов, длина центральной оси соцветия (от верхней пары черешковых листьев до верхней мутовки центрального соцветия), количество мутовок на центральной оси соцветия, количество пар боковых осей соцветия I и II порядка, урожай соцветий (соцветия срезали над верхней парой черешковых листьев) и содержание в них эфирного масла.

Выполнена статистическая обработка полученных данных с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2010 [21].

Результаты и их обсуждение

Годы проведения исследований 2017-2020 отличались по метеоусловиям в период активной вегетации растений. Температурный режим 2017 г. был близок к среднегодовым показателям. Исключение составил март, средняя температура которого превысила норму на 4 °С. Количество осадков в марте было на 27 % ниже нормы, а в апреле и мае превысило ее на 115 и 112 % соответственно. Экстремально жарким и засушливым был сезон 2018 г. Среднемесячные показатели температуры апреля-июля превышали норму на 2,2–3,8 °С. Среднемесячное количество осадков в апреле-июне составляло 10,7; 70,9 и 33,3 % от нормы. Лишь в июле количество осадков превысило норму в 1,5 раза (149,4 %). Промежуточным по погодным условиям был 2019 г.: весной – засушливый (44,4–42,2 % в апреле и мае), в июне – жаркий (+4,1 °С к норме), с достаточным количеством осадков во второй половине месяца (всего 96,6 %). Большое количество осадков выпало и в начале июля (114,6 % к норме, в целом за месяц). Однако при этом температурный режим был несколько ниже нормы (на 0,5 °С, в среднем за месяц). В 2020 г. температурный режим в апреле-июле был близок к средним показателям ($\pm 0,2$ –2,4 °С). Экстремально засушливыми были март и апрель – 3,8 и 38,8 % к норме осадков. Количество осадков в мае и июле было фактически на уровне средних многолетних показателей (108,9 и 106,4 %), а в июне значительно превысило норму (147,2 %).

В популяции шалфея мускатного встречаются растения, способные

формировать генеративную сферу уже в первый год развития. Как показали результаты анализа, в первый год вегетации количество таких растений варьировало по образцам, в среднем за три года (2017-2019 гг.) от 1,9 до 28,8 %. Выделено шесть образцов (5,4 %) с большим количеством растений (более 15%), цветущих в 1-й год. Такие образцы могут представлять интерес для создания сортов, формирующих урожай два года подряд. В Молдове выведены сорта, обильно цветущие в первый–третий годы вегетации. Они обеспечивают урожайность соцветий до 30 т/га и продукцию эфирного масла – от 54,9 ц/га у позднеспелого сорта М-404 и до 73,3 ц/га у раннеспелого сорта Амбра Плюс за три года эксплуатации плантации [22].

Отрастание растений коллекции во второй год вегетации в 2018–2020 гг. начиналось с 11 по 19 апреля. Фенологические наблюдения показали, что фаза цветения растений шалфея мускатного наступала в годы изучения в зависимости от метеоусловий с разницей в 20 дней – на 41-ый – 63-ий день от начала отрастания. Продолжительность вегетационного периода растений второго года вегетации от отрастания до фазы технической спелости составляет для всех образцов коллекции, в среднем $91,7 \pm 0,2$ дня. Семена созревают через пять–семь дней после фазы технической спелости. Выделены два раннеспелых образца, фаза технической спелости у которых наступала через $77,0 \pm 3,6$ и $80,0 \pm 5,3$ дней соответственно.

Результаты анализа коллекции по основным показателям приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика коллекции шалфея мускатного по основным морфобиологическим и хозяйственно ценным показателям, 2018–2020 гг.

Показатель	Высота растения, см	Количество соцветий на растении, шт.	Длина оси центрального соцветия, см	Количество пар осей на соцветии первого порядка, шт.	Масса 1000 семян, г	Урожай соцветий, кг с делянки (0,6 м ²)	Массовая доля эфирного масла, % от абсолютно сухой массы	Сбор эфирного масла, г с делянки
<i>x</i>	$101,1 \pm 0,5$	$4,8 \pm 0,04$	$42,5 \pm 0,2$	$5,7 \pm 0,04$	$1,93 \pm 0,02$	$0,94 \pm 0,01$	$0,69 \pm 0,01$	$1,94 \pm 0,04$
Lim x_{\min} - x_{\max}	85,8–112,5	3,6–6,2	36,2–47,4	4,6–6,8	1,4–2,3	0,7–1,2	0,39–1,06	1,0–2,9
<i>Cv</i> , %	4,8	10,4	5,3	7,5	9,5	13,8	18,8	19,6

Примечание. *x* – среднее, *lim* – размах варьирования, *Cv* – коэффициент вариации.

Высота растений отчасти характеризует устойчивость к полеганию, а также возможность механизированного ухода и уборки без потерь. За три года изучения этот показатель у образцов коллекции шалфея мускатного составил в среднем $101,1 \pm 0,5$ см и находился в диапазоне от 85,8 до 112,5 см, а высота растений сортов НИИСХ Крыма – от 96,0 (Крымский поздний) до 108,9 см (Тайган и С 785).

Средняя высота растений коллекционных образцов в экстремально засушливых и жарких условиях 2018 г. составила $113,4 \pm 0,8$ см и варьировала по образцам от 89,4 до 136,8 см. Средняя высота сортов находилась в пределах от $94,7 \pm 2,7$ см (Ай-Тодор) до $121,2 \pm 3,2$ см (С 785). В условиях 2019 г. высота образцов коллекции варьировала от 69,1 до 132,8 см, составив в среднем $118,1 \pm 0,8$ см, а высота сортов – от $100,7 \pm 1,8$ см (Крымский поздний) до $127,8 \pm 0,4$ см (Тайган). Осенне–зимний период 2019–2020 гг. и весна–начало лета 2020 г. были крайне засушливыми. Только в июне и июле количество выпавших осадков было, соответственно на уровне и выше нормы. Сложившиеся гидротермические условия неблагоприятно повлияли на рост растений. В результате средняя высота

коллекционных образцов в 2020 г. достигла всего $71,9 \pm 0,9$ см и варьировала от $32,6$ до $91,3$ см, а средняя высота сортов – от $72,4 \pm 5,2$ (Орфей) до $91,3 \pm 3,9$ см (С 785).

По средним показателям высоты образцы коллекции разделены на две группы:

- низкорослые – менее 100 см – 47 образцов (42,0 %),
- высокорослые 100 см и выше – 65 образцов (58,0 %).

Все сорта НИИСХ Крыма, кроме сорта Крымский поздний, вошли в группу высокорослых.

Эфирное масло шалфея мускатного получают из соцветий на стадии созревания семян в нижних мутовках. Стебель и листья являются балластом. Соответственно, урожайность растений шалфея мускатного определяется количеством соцветий на растении и их структурой. Количество соцветий у растений коллекционных образцов в среднем за три года составило $4,8 \pm 0,04$ шт. при диапазоне 3,6–6,2 шт. На растениях сортов формировалось в среднем от $4,2 \pm 0,4$ шт. (С 785) до $5,2 \pm 0,5$ шт. (Тайган).

По этому показателю выделяются три группы:

- с малым количеством соцветий – до четырех шт. на растении – семь образцов (6,3 %);
- со средним количеством соцветий – 4,1–5,0 шт. – 70 образцов (62,5 %), включая сорта Орфей, Ай-Тодор, Крымский поздний и С 785;
- с высоким количеством соцветий – 5,1 шт. и более – 35 образцов (31,2 %), включая сорт Тайган.

Наибольшее количество соцветий сформировалось в 2019 г., в среднем по коллекции – $5,7 \pm 0,1$ шт. при диапазоне от 3,3 до 9,0 шт. на растении. В менее благоприятных условиях 2018 и 2020 гг. среднее количество соцветий в коллекции было одинаковым – $4,4 \pm 0,1$ шт. (диапазон – 2,9–6,2 шт.) и $4,2 \pm 0,1$ шт. (диапазон – 1,7–6,1 шт.) соответственно.

Проанализированы и другие структурные части растений коллекционных образцов: длина оси центрального соцветия (в среднем – $42,5 \pm 0,2$ см), количество мутовок на центральной оси соцветия (в среднем – $7,7 \pm 0,05$ шт.), количество пар осей на соцветиях первого–второго порядков ($5,7 \pm 0,04$ и $5,6 \pm 0,07$ шт. соответственно). Для этих параметров отмечены аналогичная тенденция изменчивости по годам и незначительные различия между образцами.

Средняя масса 1000 семян в коллекции в среднем за годы изучения составила $1,93 \pm 0,02$ г при диапазоне изменчивости по образцам – 1,4–2,3 г. В 2018 и 2019 гг. эти показатели не отличались и составляли соответственно $1,99 \pm 0,02$ г (1,3–2,5 г) и $1,98 \pm 0,02$ г. (1,4–2,7 г). В 2020 г. средняя масса 1000 семян была достоверно ниже – $1,82 \pm 0,02$ г. при диапазоне изменчивости 0,9–2,4 г.

Особое внимание при изучении коллекции шалфея мускатного уделено показателям продуктивности (см. таблицу 1).

Урожайность соцветий существенно зависит от условий температурного и водного режима в период формирования и развития растений, как во второй, так и в первый год вегетации [23]. Урожай соцветий с делянки ($0,6 \text{ м}^2$) достаточно широко варьировал в коллекции и составил, в среднем, за три года $0,94 \pm 0,01$ кг при диапазоне от 0,7 до 1,2 кг (в том числе и у сортов).

По результатам анализа в группу низкоурожайных (в среднем до 0,8 кг/дел., включительно) отнесено 26 образцов (23,2 %), в том числе сорта Ай-Тодор и Крымский поздний; в группу среднеурожайных (от 0,9 до 1,0 кг/дел.) – 66 образцов (58,9 %), в том числе сорта Тайган, Орфей. Наибольший интерес представляет группа из 20 (17,9 %) наиболее урожайных образцов (от 1,1 кг/дел. и выше), куда вошел и сорт С 785.

Самый высокий урожай соцветий отмечен в 2018 г., составивший в среднем $1,33 \pm 0,02$ кг/дел. (при диапазоне изменчивости в коллекции – 0,7–1,2 кг/дел.). Показатели сортов НИИСХ Крыма составили $0,7 \pm 0,1$ (Крымский поздний) – $1,2 \pm 0,2$ (С 785) кг с делянки. Это в значительной степени связано с благоприятными по сочетанию температурного режима и количества осадков погодными условиями 2017 г. в которых развивались растения первого года вегетации.

Значительно более низкий урожай соцветий у большинства образцов, в том числе и сортов (соответственно 0,4–1,1 и 0,5–0,9 кг/дел.) сформировался в 2019 году, что связано с экстремально засушливыми и жаркими условиями предыдущего года, засушливыми условиями весны и начала лета и чрезвычайно жарким июнем текущего года. Средний показатель в коллекции – $0,81 \pm 0,02$ кг/дел. при диапазоне 0,4–1,9 кг/дел.

Вследствие неблагоприятных условий предшествовавшего осенне–зимнего периода урожай соцветий в 2020 г. был еще ниже – $0,69 \pm 0,02$ кг/дел. (диапазон в коллекции – 0,2–1,4 кг/дел.); у сортов – 0,8–1,1 кг/дел.

Наиболее важной характеристикой для эфиромасличных растений является содержание в сырье эфирного масла. Этот показатель, кроме генетической обусловленности, в значительной степени зависит от температурного режима и осадков в период образования и накопления эфирного масла в соцветиях.

В результате трехлетних исследований установлено, что массовая доля эфирного масла в соцветиях в коллекции шалфея мускатного варьирует в широких пределах – от 0,39 до 1,06 % от абсолютно сухой массы, составляя в среднем $0,69 \pm 0,01$ %; у сортов – от $0,66 \pm 0,22$ (С 785) до $0,88 \pm 0,09$ % (Крымский поздний). Вариабельность показателя ($Cv = 18,8$ %) свидетельствует о возможности отбора высокомасличных образцов (см. таблицу 1).

Исходя из ценности для селекции, образцы разделены на три группы:

- низкомасличные – с массовой долей эфирного масла до 0,60 % от абсолютно сухой массы – 29 образцов (25,9 %);
- среднемасличные – с массовой долей эфирного масла 0,61–0,80 % – 61 образец (54,4 %), включая сорта Тайган, Орфей, Ай-Тодор и С 785;
- высокомасличные – с массовой долей эфирного масла более 0,80 % – 22 образца (19,6 %), включая сорт Крымский поздний.

Не отмечено сильных различий среднего содержания эфирного масла в коллекции по годам (2018–2020), независимо от особенностей метеоусловий. Оно составляло соответственно $0,70 \pm 0,02$ % (диапазон изменчивости – 0,21–1,54 %); $0,62 \pm 0,02$ % (0,22–1,37 %) и $0,73 \pm 0,02$ % (0,35–1,31 %) от абсолютно сухой массы. Это свидетельствует о более высокой генетической обусловленности этого признака по сравнению с влиянием метеоусловий года.

Величина сбора эфирного масла варьировала в среднем по коллекции за годы исследований от 1,0 до 2,9 г с делянки ($0,6 \text{ м}^2$) при среднем значении – $1,94 \pm 0,04$ г с делянки. Средние показатели сортов – $1,7 \pm 0,2$ (Орфей) – $2,5 \pm 0,8$ (С 785).

Среди образцов выделены группы:

- с низким сбором эфирного масла – до 1,6 г/дел. – 25 (22,3 %) образцов;
- со средним сбором эфирного масла – 1,7–2,2 г/дел. – 65 (58,1 %) образцов, включая сорта Тайган, Орфей, Ай-Тодор и Крымский поздний;
- с высоким сбором эфирного масла – более 2,2 г/дел. – 22 (19,6 %), включая сорт С 785.

Сбор эфирного масла – это результирующий показатель, зависящий от урожая соцветий ($r = 0,29$) и содержания в них эфирного масла ($r = 0,76$). По данным ряда исследователей, изучавших дикие популяции шалфея мускатного, сбор масла положительно коррелирует с такими метрическими показателями, как высота

растений, количество и длина соцветий [24, 25]. Однако результаты наших исследований показали полное отсутствие взаимосвязи между сбором масла, количеством ($r = 0,05$) и длиной соцветий ($r = -0,08$) и слабую корреляцию с высотой растений ($r = 0,20$). Возможно, это связано с отсутствием контрастных различий между образцами, прошедшими предварительный отбор и выращиваемыми на протяжении многих лет в равных условиях.

Величина сбора эфирного масла изменялась по годам соответственно с данными показателями в зависимости от складывавшихся погодных условий. Самый высокий сбор масла отмечен в наиболее жарких и засушливых условиях 2018 г. Он составил в среднем по коллекции $3,0 \pm 0,1$ г с делянки при диапазоне изменчивости по образцам от 0,9 до 5,2 г. В последующие 2019 и 2020 гг. сбор масла был вдвое ниже и составил в среднем $1,5 \pm 0,1$ г/дел. (при диапазоне изменчивости в коллекции от 0,4 до 3,4 г) и $1,4 \pm 0,1$ г/дел. ($0,5-3,3$ г) соответственно.

Следует отметить невысокую вариабельность показателей в коллекции. Коэффициенты вариации составили 4,8–19,6 % (таблица 1). Это объясняется тем, что в коллекцию вошли образцы, уже прошедшие разные этапы селекционного отбора. Тем не менее, проведенное изучение специализированной коллекции шалфея мускатного позволило выделить по основным показателям продуктивности 15 образцов, перспективных для включения в селекцию, в том числе пять образцов с массовой долей эфирного масла в соцветиях 0,90–1,06 % от абсолютно сухой массы (у сортов – 0,65–0,88 %) (таблица 2). Для сравнения в таблицу включены данные по сортам НИИСХ Крыма.

Таблица 2 – Показатели продуктивности перспективных коллекционных образцов шалфея мускатного (2018–2020 гг.)

Образец	Урожай соцветий, кг/дел.	Массовая доля эфирного масла, % от абсолютно сухой массы	Сбор эфирного масла, г/дел.
S-4 204	$1,00 \pm 0,20$	$0,80 \pm 0,07$	$2,10 \pm 0,40$
S-7 207	$1,00 \pm 0,20$	$0,92 \pm 0,23$	$2,70 \pm 0,70$
S-10 210	$1,10 \pm 0,30$	$0,83 \pm 0,10$	$2,50 \pm 0,60$
S-15 215	$0,90 \pm 0,10$	$0,60 \pm 0,07$	$1,50 \pm 0,10$
S-19 219	$0,90 \pm 0,10$	$0,77 \pm 0,21$	$2,00 \pm 0,50$
S-24 224	$1,00 \pm 0,40$	$0,72 \pm 0,11$	$1,80 \pm 0,50$
S-27 227	$0,90 \pm 0,20$	$0,85 \pm 0,16$	$2,40 \pm 1,20$
S-29 229	$1,00 \pm 0,20$	$0,81 \pm 0,08$	$2,30 \pm 0,50$
S-30 230	$1,10 \pm 0,30$	$0,90 \pm 0,14$	$2,90 \pm 1,20$
S-67 267	$0,90 \pm 0,10$	$0,96 \pm 0,24$	$2,50 \pm 0,30$
S-73 273	$0,80 \pm 0,20$	$0,85 \pm 0,13$	$2,40 \pm 0,90$
S-76 276	$0,90 \pm 0,20$	$0,85 \pm 0,11$	$2,40 \pm 0,50$
S-85 285	$0,80 \pm 0,10$	$0,95 \pm 0,33$	$2,30 \pm 1,00$
S-88 288	$0,80 \pm 0,20$	$1,06 \pm 0,14$	$2,60 \pm 1,00$
S-89 289	$0,90 \pm 0,10$	$0,88 \pm 0,12$	$2,70 \pm 0,50$
сорта НИИСХ Крыма			
S-104 506 Ай-Тодор	$0,80 \pm 0,20$	$0,80 \pm 0,13$	$1,80 \pm 0,40$
S-105 507 Крымский поздний	$0,70 \pm 0,10$	$0,88 \pm 0,09$	$1,90 \pm 0,40$
S-109 511 Орфей	$0,90 \pm 0,10$	$0,65 \pm 0,03$	$1,70 \pm 0,20$
S-110 512 С 785	$1,20 \pm 0,20$	$0,66 \pm 0,22$	$2,5 \pm 0,8$
S-111 513 Тайган	$0,90 \pm 0,10$	$0,70 \pm 0,05$	$2,0 \pm 0,2$

Выводы

В условиях Предгорья Крыма в 2017–2020 гг. проведено сравнительное изучение коллекции шалфея мускатного, включающей 112 образцов, по комплексу морфобиологических параметров и показателей продуктивности.

Отмечена относительно невысокая вариабельность показателей в коллекции (Cv – 4,8–19,6 %), что объясняется тем, что большинство образцов прошло разные этапы селекционного отбора.

Выявлены существенные колебания отдельных показателей в зависимости от метеоусловий в оба года вегетации. Так, средняя высота растений в коллекции различалась по годам на 46,2 см, урожай соцветий с делянки (0,6 м²) – на 0,52 г в зависимости от погодных условий в период вегетации растений. Различия в содержании эфирного масла в соцветиях в 2018–2020 гг. менее значительны (0,70 ± 0,02%, 0,62 ± 0,02% и 0,73 ± 0,02 % соответственно), что указывает на их более высокую генетическую обусловленность по сравнению с влиянием метеоусловий.

Проведенный анализ позволил выделить образцы, превышающие показатели сортов НИИСХ Крыма, используемых в сельскохозяйственном производстве, по одному или нескольким хозяйственно ценным показателям. Рекомендовано включение в селекционные исследования 15-ти образцов, превысивших показатели сортов по одному или нескольким показателям, в том числе пять образцов с массовой долей эфирного масла в соцветиях 0,90–1,06 % от абсолютно сухой массы (у сортов – 0,65–0,88 %).

Результаты исследования дают общую характеристику коллекции, показывая возможность отбора образцов по основным показателям, ценным для создаваемого сорта заданного направления.

Литература

1. Назаренко Л. Г., Афонин А. В. Эфиросы юга Украины. Симферополь: Таврия, 2008. 144 с.
2. Эфиромасличные культуры. Краснодар: Просвещение-Юг, 2017. С. 100-148.
3. Uskutoğlu T., Şenkal B. C., Doğan H. Determination of essential oil components, mineral matter, and heavy metal of clary sage (*Salvia sclarea* L.) collected from Central Anatolia in Turkey // Book of Proceedings of the XII International Scientific Agricultural Symposium “Agrosym 2021”, 2021. P. 674–681.
4. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В., Мишнев А. В., Назаренко Л. Г. Эфиромасличная отрасль Крыма. Вчера, сегодня, завтра. 2-ое издание, дополненное. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. С. 88–103.
5. Работягов В. Д., Палий А. Е., Курдюкова О. Н. Эфирные масла ароматических растений: монография. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017. С. 29–30.
6. Войткевич С. А. Эфирные масла для парфюмерии и ароматерапии. М.: Пищевая промышленность, 1999. 284 с.
7. Паштецкий В. С., Тимашева Л. А., Пехова О. А., Данилова И. Л., Серебрякова О. А. Эфирные масла и их качество. Симферополь: ИТ «Ариал», 2021. С. 133–139. DOI: 10.33952/2542-0720-978-5-907506-16-9.
8. Aćimović M., Kiprovski B., Rat M., Sikora V., Popović V., Koren A., Brdar-Jokanović M. *Salvia sclarea*: chemical composition and biological activity // Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management. 2018. Vol. 1(1). P. 18–28.
9. Goncariuc M., Balmuş Z., Cotelea L. Genetic diversification of *Salvia sclarea* L. quality by increasing the storage capacity of the essential oil // Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii si Comunicari. Stiintele Naturii. 2016. Vol. 32. P. 29–36.
10. Mahboubi M. Clary sage essential oil and its biological activities // Advances in Traditional Medicine. 2020. No. 20. P. 517–528. DOI: 10.1007/s13596-019-00420-x.
11. Šučur J., Popovic A., Petrović M., Anačkov G. T., Malenčić D., Prvulovic D. Allelopathic effects and insecticidal activity of *Salvia sclarea* L. // Studia Universitatis Babeş-Bolyai. Chemia. 2015. Vol. 60 (1). P. 253–264.
12. Yılar M., Bayan Y. Antifungal effect of *Salvia sclarea* L. essential oil on growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* Jarvis & Shoemaker and *Verticillium dahliae* (Kleb.) // Book of Proceedings VIII International Scientific Agriculture Symposium, “Agrosym 2017”. Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2017. P. 1409–1413.
13. Ayoub N. M., Yucel Y. Yu., Alkan M., Polatoglu K. Essential oil composition of *Salvia sclarea* L. aerial parts and its AChE inhibitory properties // Facta universitatis. Series: Physics, Chemistry and Technology. Special issue devoted to 49th International Symposium on Essential Oils (ISEO 2018). 2018. Vol. 16(1). P. 80.

14. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорты растений (по состоянию на 02 июня 2022 г.). 645 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2022/06/Реестр%20на%20допуск%202022.pdf> (дата обращения 06.07.2022).
15. Егорова Н. А., Ставцева И. В. Создание сорта шалфея мускатного с использованием методов клеточной инженерии. 1. Получение растений-регенерантов в каллусной культуре *in vitro* // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 98–112. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-98-112.
16. Егорова Н. А., Ставцева И. В. Создание сорта шалфея мускатного с использованием методов клеточной инженерии. 2. Изучение растений-регенерантов на этапах селекционного процесса // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2(26). С. 208–222. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-208-222.
17. Бабанов Н. С., Мемишева Л. С. Изучение селекционных образцов шалфея мускатного (*Salvia sclarea* L.) как исходного материала для создания нового сорта // Тенденции развития науки и образования. 2016. № 17(2). С. 5–8. DOI: 10.18411/lj2016-8-2-01.
18. Савчук Л. П. Климат предгорной зоны Крыма и эфиронсы. Симферополь: ЧП «Эльиньо», 2006. 76 с.
19. Селекция эфиромасличных культур: методические указания // Под ред. А. И. Аринштейн. Научно-производственное объединение по эфирномасличным культурам и маслам. Всесоюзный научно-исследовательский институт эфиромасличных культур. Симферополь, 1977. 151 с.
20. Биохимические методы анализа эфиромасличных растений и эфирных масел: сборник научных трудов // Сост. Карпачева А. Н., Персидская К. Г., Лиштванова Л. Н. Министерство сельского хозяйства СССР. Научно-производственное объединение по эфирномасличным культурам и маслам. Всесоюзный научно-исследовательский институт эфиромасличных культур. Симферополь, 1972. 107 с.
21. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
22. Goncariuc M., Balmus Z. Performant new varieties of *Salvia sclarea* L. with different period of vegetation carried out in the Republic Moldova // Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii. 2010. No. 1(26). P. 9–13.
23. Кривчик Н. С., Кривда С. И., Невкрытая Н. В. Сравнительный анализ коллекции *Salvia sclarea* L. // В книге: Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки. Материалы IV международной научно-практической конференции. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2019. С. 174–176. DOI: 10.33952/09.09.2019.83.
24. Tuttolomondo T., Virga G., Licata M., Iacuzzi N., Farruggia D., Bella S. L. Assessment of production and qualitative characteristics of different populations of *Salvia sclarea* L. found in Sicily (Italy) // Agronomy. 2021. No. 11. P. 1508. DOI: 10.3390/agronomy11081508.
25. Yaseen M., Singh M., Ram D., Singh K. Production potential, nitrogen use efficiency and economics of clary sage (*Salvia sclarea* L.) varieties as influenced by nitrogen levels under different locations // Ind. Crop. Prod. 2014. No. 54. P. 86–91. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.01.002.

References

1. Nazarenko L. G., Afonin A. V. Essential oil bearing plants grown in the south of Ukraine. Simferopol: Tavria, 2008. 144 p.
2. Essential oil crops. Krasnodar: Prosveshcheniye-Yug, 2017. P. 100–148.
3. Uskutoğlu T., Şenkal B. C., Doğan H. Determination of essential oil components, mineral matter, and heavy metal of clary sage (*Salvia sclarea* L.) collected from Central Anatolia in Turkey // Book of Proceedings of the XII International Scientific Agricultural Symposium “Agrosym 2021”, 2021. P. 674–681.
4. Pashtetskiy V. S., Nevkrytaya N. V., Mishnev A. V., Nazarenko L. G. Essential oil industry in the Crimea. Yesterday, today, tomorrow. 2nd edition, updated. Simferopol: “Ariol”, 2018. P. 88–103.
5. Rabotyagov V. D., Paliy A. E., Kurdyukova O. N. Essential oils of aromatic plants: monograph. Simferopol: “ARIAL”, 2017. P. 29–30.
6. Voytkovich S. A. Essential oils for perfumery and aromatherapy. Moscow: Pischevaya promyshlennost (Food industry), 1999. 284 p.
7. Pashtetskiy V. S., Timasheva L. A., Pekhova O. A., Danilova I. L., Serebryakova O. A. Essential oils and their quality. Simferopol: “Ariol”, 2021. P. 133–139. DOI: 10.33952/2542-0720-978-5-907506-16-9.
8. Aćimović M., Kiprovski B., Rat M., Sikora V., Popović V., Koren A., Brdar-Jokanović M. *Salvia sclarea*: chemical composition and biological activity // Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management. 2018. Vol. 1(1). P. 18–28.
9. Goncariuc M., Balmuş Z., Cotelea L. Genetic diversification of *Salvia sclarea* L. quality by increasing the storage capacity of the essential oil // Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii si Comunicari. Stiintele Naturii. 2016. Vol. 32. P. 29–36.

10. Mahboubi M. Clary sage essential oil and its biological activities // *Advances in Traditional Medicine*. 2020. No. 20. P. 517–528. DOI: 10.1007/s13596-019-00420-x.
11. Šučur J., Popovic A., Petrović M., Anačkov G. T., Malenčić D., Prvulovic D. Allelopathic effects and insecticidal activity of *Salvia sclarea* L. // *Studia Universitatis Babeş-Bolyai. Chemia*. 2015. Vol. 60 (1). P. 253–264.
12. Yılar M., Bayan Y. Antifungal effect of *Salvia sclarea* L. essential oil on growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* Jarvis & Shoemaker and *Verticillium dahliae* (Kleb.) // *Book of Proceedings VIII International Scientific Agriculture Symposium, "Agrosym 2017"*. Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2017. P. 1409–1413.
13. Ayoub N. M., Yucel Y. Yu., Alkan M., Polatoglu K. Essential oil composition of *Salvia sclarea* L. aerial parts and its AChE inhibitory properties // *Facta universitatis. Series: Physics, Chemistry and Technology. Special issue devoted to 49th International Symposium on Essential Oils (ISEO 2018)*. 2018. Vol. 16(1). P. 80.
14. State register for selection achievements admitted for usage. Vol.1 "Plant varieties" (as of 02 June 2022). 645 p. [Electronic resource]. Access point: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2022/06/Реестр%20на%20допуск%202022.pdf> (reference's date 06.07.2022).
15. Yegorova N. A., Stavtzeva I. V. Creation of clary sage cultivar using cell engineering methods. 1. Obtaining of plant-regenerants in callus culture *in vitro* // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021. No. 1(25). P. 98–112. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-98-112.
16. Stavtzeva I. V., Yegorova N. A. Creation of clary sage cultivar using cell engineering methods. 2. Study of plant-regenerants at the stages of breeding process // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021. No. 2 (26). P. 208–222. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-208-222.
17. Babanov N. S., Memisheva L. S. Study of selection samples of clary sage (*Salvia sclarea* L.) as a source material for creating a new variety // *Tendentsii nauki i obrazovania*. 2016. No. 17(2). P. 5–8. DOI: 10.18411/lj2016-8-2-01.
18. Savchuk L. P. The climate of the foothill areas of the Crimea and essential oil crops. Simferopol: Private Enterprise "El'in'o", 2006. 76 p.
19. Essential oil crops breeding (guidelines) // Ed. by Arinshteyn A. I. Scientific Production Association for essential oil crops and oils. All-Union Research Institute of Aromatic Crops (VNIEMK). Simferopol, 1977. 151 p.
20. Biochemical methods of analysis of essential oil crops and essential oils: collection of scientific works // Compiled by Karpacheva A. N., Persidskaya K. G., Lishtvanova L. N. Ministry of Agriculture of the USSR. Scientific Production Association for essential oil crops and oils. All-Union Research Institute of Aromatic Crops (VNIEMK). Simferopol, 1972. 107 p.
21. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 352 p.
22. Goncariuc M., Balmus Z. Performant new varieties of *Salvia sclarea* L. with different period of vegetation carried out in the Republic Moldova // *Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii*. 2010. No. 1(26). P. 9–13.
23. Krivchik, N.S., Krivda S.I., Nevkrytaya N.V. Comparative assessment of the collection of *Salvia Sclarea* L. according to major indicators of productivity // In book: *Current State, Problems and Prospects of the Development of Agrarian Science. Proceedings of IV international scientific conference*. Simferopol: "ARIAL", 2019. P. 174–176. DOI: 10.33952/09.09.2019.83.
24. Tuttolomondo T., Virga G., Licata M., Iacuzzi N., Farruggia D., Bella S. L. Assessment of production and qualitative characteristics of different populations of *Salvia sclarea* L. found in Sicily (Italy) // *Agronomy*. 2021. No.11. P. 1508. DOI: 10.3390/agronomy11081508.
25. Yaseen M., Singh M., Ram D., Singh K. Production potential, nitrogen use efficiency and economics of clary sage (*Salvia sclarea* L.) varieties as influenced by nitrogen levels under different locations // *Ind. Crop. Prod.* 2014. No. 54. P. 86–91. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.01.002.

UDC 633.88: 543.85:581.4

Krivchik N. S., Nevkrytaya N. V., Krivda S. I., Ametova E. D., Skipor O. B.
**SALVIA SCLAREA L. COLLECTION AS A SOURCE OF INITIAL MATERIAL
FOR BREEDING PURPOSES**

Summary. Specialized collections, in which samples of flora from different regions, varieties, cultivars, breeding numbers, etc. are represented, are the main source of initial material in breeding. To use such collections successfully, breeder needs data on main indicators preliminary study. The purpose of the research was to characterize *Salvia sclarea* L. collection by a set of basic morphobiological parameters and productivity indicators,

including dependence on weather conditions of the year, to help us to select the most promising samples for further breeding work. There are 112 samples in the collection, including five varieties created and owned by Research Institute of Agriculture of Crimea. The study was conducted in 2017–2020 under conditions of the Crimean Foothills in full compliance with the guidelines for essential oil crops. A relatively low variability of indicators in the collection ($C_v = 4.8\text{--}19.6\%$) was noted. The reason for this includes the fact that most samples went through different stages of selection. Depending on weather conditions in different years, significant fluctuations of individual indicators were noted. Thus, the average height of plants in the collection varied by years by 46.2 cm, the yield of inflorescences from the plot (0.6 m^2) – by 0.52 g. Differences in the content of essential oil in inflorescences in 2018–2020 were less significant ($0.70 \pm 0.02\%$, $0.62 \pm 0.02\%$ and $0.73 \pm 0.02\%$, respectively), which indicates their higher genetic conditionality compared to the influence of weather conditions. The results of the study give a general description of the collection, show the possibility of sampling according to the main indicators that are valuable for the variety created. The analysis made it possible to identify samples that exceed the indicators of the varieties created by scientists from the Research Institute of Agriculture of Crimea and used in agricultural production. Following the studies, we recommend including 15 samples that exceed varieties in one or more economically valuable indicators in breeding studies. Among the mentioned samples, five are with the mass fraction of essential oil in inflorescences at the level of 0.90–1.06% of absolutely dry weight; this indicator in varieties reached only 0.65–0.88%.

Keywords: *clary sage (Salvia sclarea L.), collection, morphobiological parameters, yield of inflorescences, mass fraction of essential oil.*

Кривчик Нина Сергеевна, младший научный сотрудник отдела селекции селекционно-семеноводческого центра по эфиромасличным культурам ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: n_krivchik25@mail.ru.

Невкрытая Наталья Владимировна, кандидат биологических наук, заведующая отделом селекции селекционно-семеноводческого центра по эфиромасличным культурам ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: nevkritaya@mail.ru.

Кривда Светлана Ивановна, младший научный сотрудник отдела селекции селекционно-семеноводческого центра по эфиромасличным культурам ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: krivda_svetlana65@mail.ru.

Аметова Эльмира Джипаровна, заведующая сектором биохимических анализов ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: e-ametova@mail.ru.

Скипор Олег Болеславович, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом эфиромасличных и лекарственных культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: olegskipor@mail.ru.

Krivchik Nina Sergeevna, junior researcher of the Department of breeding, Center of Essential Oil Crops Breeding and Seed Production, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: n_krivchik25@mail.ru.

Nevkrytaya Natalya Vladimirovna, Cand. Sc. (Biol.), head of the Department of breeding, Center of Essential Oil Crops Breeding and Seed Production, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: nevkritaya@mail.ru.

Krivda Svetlana Ivanovna, junior researcher of the Department of breeding, Center of Essential Oil Crops Breeding and Seed Production, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: krivda_svetlana65@mail.ru.

Ametova Elmira Dzhyparovna, head of the Sector of biochemical analyzes, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: e-ametova@mail.ua.

Skipor Oleg Boleslavovich, Cand. Sc. (Agr.), head of the Department of aromatic and medicinal plants, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”, 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: oleg_skipor@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 15.04.2022.

Дата принятия к печати – 21.06.2022.

УДК 633.13:631.559
EDN SKOQKZ

Кротова Н. В., Баталова Г. А.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ПЛЕНЧАТОГО ОВСА

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

Реферат. Кластерный анализ позволяет классифицировать образцы овса на ранних этапах селекционного процесса. Цель исследований – выделение образцов пленчатого овса с хозяйственно ценными признаками. Исследования проводили в 2019–2021 гг. в коллекционном питомнике на опытном поле Федерального аграрного научного центра Северо-Востока (Кировская область). Изучено 40 образцов пленчатого овса различного эколого-географического происхождения. Повторность трехкратная, стандарт – пленчатый сорт Кречет (к-14857, Кировская обл.). Для анализа результатов применяли пакет прикладных программ AGROS 2.07, Microsoft Office Excel 2007. Кластерный анализ образцов с использованием Statistica 10 по комплексу признаков (продолжительность периода «всходы–восковая спелость», урожайность, продуктивная кустистость, высота растений, масса метелки, число зерен в метелке, масса зерен с метелки и с растения, масса тысячи зерен) проводили по методу Ward. Принципом обработки результатов служило «евклидовое расстояние», представляющее геометрическое расстояние между координатами показателей определенного образца. Интересны в качестве источников ценных хозяйственных признаков образцы шестого кластера: Нисил (к-15709, Словакия), Виленский (к-15499, Россия), Элегант (к-15463, Р. Беларусь), Мирт (к-15500, Р. Беларусь) и стандарт Кречет (к-14857, Россия). Урожайность составила в среднем 429 г/м². Число зерен (в среднем 33 шт.) и масса зерна с растения (в среднем 1,39 г) преимущественно выше, чем у сортообразцов других кластеров. По отдельным признакам представляют интерес на увеличение показателя «масса 1000 зерен» образцы из пятого кластера: Urs Brava (к-15490, Бразилия), Свитанок (к-15504, Украина), Аргамак (к-14648, Россия), Житомирский (к-15502, Украина), Raven (к-15405, Чехия). Данный показатель варьировал от 31,4 г до 44,7 г. В селекции на зерноукосные цели и для увеличения озерненности метелки рекомендуем образцы третьего кластера: Bai Yan 7 (к-15524, Китай), Geszti (к-15297, Венгрия), Plyt (к-15257, Швеция), Tysk Moss Selection (к-15697, Швеция), Olands (к-15700, Швеция), Roslags (к-15058, Швеция). Высота растений – в среднем 99,3 см с периодом вегетации «всходы – восковая спелость» 75–80 дней. Число зерен в метелке – в пределах 23–43 штуки.

Ключевые слова: овес (*Avena sativa* subsp. *sativa*), кластерный анализ, урожайность, масса метелки, масса зерна с метелки.

Для цитирования: Кротова Н. В., Баталова Г. А. Кластеризация коллекционных образцов пленчатого овса // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 106–115. EDN: SKOQKZ.

For citation: Krotova N. V., Batalova G. A. Clustering of collection samples of covered oats // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 106–115. EDN: SKOQKZ.

Введение

Овес является одной из значимых зерновых культур в условиях Нечерноземья России. Его выращивают для получения фуражного и продовольственного зерна, кормовой массы. Факторы, определяющие получение высоких урожаев овса в условиях Северо-Востока России – непродолжительный вегетационный период и весенне–летние

засухи, участвовавшие в последнее время. В годы с избыточным увлажнением возникает риск полегания растений, эпифитотий грибных болезней, прорастания зерна в метелке, снижения его качества. Это указывает на актуальность селекции на устойчивость к контрастным погодным условиям с целью получения зерна высокого качества [1], что предполагает изучение базы коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР) – основного источника получения новых сортов [2].

При работе с коллекцией растений подразумевается исследовать большое число образцов по широкому спектру признаков разного качества [3, 4]. Для подбора генетически разных родительских форм и получения желаемых в селекции комбинаций источников могут быть использованы методы кластерного анализа [5]. Кластерный анализ был применен для оценки морфологических и фенологических признаков, результатов гибридизации и разнообразия генетического фонда, например, гороха [6], озимой пшеницы [7], кукурузы [8], нута [9] и других культур.

Цель исследований – выделение образцов овса по ценным хозяйственным признакам для дальнейшего их использования в процессе селекции.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2019–2021 гг. в коллекционном питомнике пленчатого овса на опытном поле ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока» (ФАНЦ Северо-Востока; Кировская область). Почва опытного участка – среднесуглинистая дерново-подзолистая, залегающая на элювии пермских глин, со следующими показателями качества: содержание гумуса – 2,43–2,51 % (по Тюрину, ГОСТ 26213- 91), подвижного фосфора и калия – 334–339 и 200–245 мг/кг почвы соответственно (по Кирсанову, ГОСТ 26207-91), рН – 5,7–6,0 (ГОСТ 26212-91).

Контрастные погодные условия, которые наблюдали в период вегетации 2019–2021 гг., позволили в полной мере оценить особенности генотипов овса, о чём косвенным образом свидетельствует величина гидротермического коэффициента (ГТК) (рисунок 1).

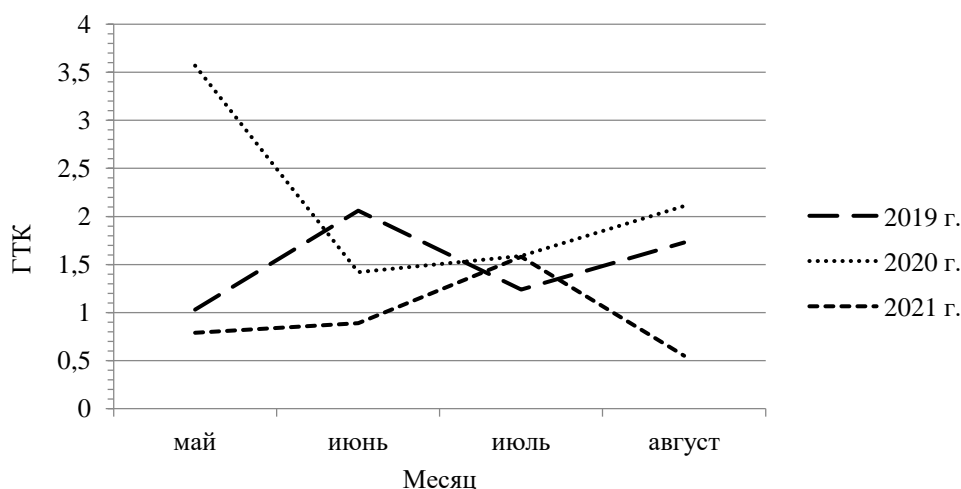


Рисунок 1 – Гидротермический коэффициент (ГТК), 2019–2021 гг. (РФ, Кировская область)

Наиболее продолжительный период вегетации был в 2019 г. В начале вегетации наблюдали теплую погоду (ГТК = 1,03), в последующем – пониженные температуры и незначительные осадки (ГТК = 2,06). Июль и август

характеризовались неустойчивой холодной погодой с умеренными или сильными осадками, в результате чего произошло удлинение периода налива и созревания зерна. Май и июнь 2020 г. характеризовались неустойчивой по температуре погодой с небольшими дождями (величина ГТК равна 3,57 и 1,42 соответственно). В начале июля была очень теплая и жаркая сухая погода, во второй половине месяца – умеренно-теплая и теплая с сильными ливнями. В период от выметывания до созревания условия были достаточно благоприятны для формирования высокой урожайности овса. Посев и появление всходов в 2021 г. проходили при теплой и жаркой погоде, как с сухими, так и дождливыми периодами. Июнь и июль были умеренно-теплыми и жаркими месяцами. За этот период выпало до 70 % осадков от нормы. В августе также преобладали теплая и жаркая сухая погода (ГТК = 0,55), что в отличие от этого периода 2019 г. ускорило процессы созревания и начало уборки.

Изучали 40 образцов овса пленчатого (*Avena sativa* subsp. *sativa*) из коллекции ВИР. Сортообразцы были представлены генотипами из Бразилии, Швеции, Франции – восемь, шесть и четыре образца соответственно, три образца из Украины, по два образца из Германии, Великобритании, Словакии, Финляндии, Республики Беларусь, по одному из Чехии, Венгрии, Нидерландов, Эфиопии, Китая, Японии. В изучении было три российских образца: Анчар (к-14270, Иркутская обл.), Аргмак (к-14648, Кировская обл.), Виленский (к-15499, Саха Якутия), стандарт – пленчатый овес сорт Кречет (к-14857, Кировская обл.).

Исследования проводили в соответствии с методическим указаниями Лоскутова И. Г. и др. [10], по Международному классификатору [11]. Для анализа результатов применяли пакет прикладных программ AGROS 2.07, Microsoft Office Excel 2007, кластерный анализ образцов – с использованием компьютерной программы Statistica 10. Мера сходства – евклидово расстояние. Для дифференциации образцов проводили кластерный анализ по девяти хозяйственно ценным признакам: продолжительность периода «всходы–восковая спелость», урожайность, продуктивная кустистость, высота растений, масса метелки, число зерен в метелке, масса зерен с метелки и с растения, масса тысячи зерен.

Размер делянки в опыте – 1 м², повторность трехкратная, предшественник – чистый пар. Обработка почвы: зяблевая вспашка, весной следующего года – двукратное боронование тяжелыми зубowymi боронами в два следа и культивация в два следа. Внесение удобрений (нитроаммофоска из расчета N₄₅P₄₅K₄₅ на гектар) осуществляли между боронованием и культивацией. Посев делянок проводили кассетной сеялкой СКС-6А в физически спелую почву с нормой высева 6 млн всхожих семян на га, уборка комбайном «Wintersteiger».

Результаты и их обсуждение

Продолжительность вегетационного периода определяли погодные условия. Он варьировал в среднем по изученным образцам от 65 дней в 2021 г. (чему способствовала жаркая сухая погода) и до 88 дней в 2019 г. благодаря обилию осадков и низким температурам. Выявлена достоверная корреляционная зависимость урожайности от гидротермических условий ($r = 0,513$, при $p \geq 0,95$).

По результатам кластеризации образцов составлена дендрограмма по основным хозяйственно ценным признакам (рисунок 2).

Согласно данным кластерного анализа, образцы коллекции пленчатого овса разделились по линии Linkage Distance равной 100 на шесть кластеров с различным количественным составом (рисунок 3). Принципом обработки результатов является классификация образцов в группы по критерию наибольшего подобия [12]. Стандарт Кречет вошел в шестой кластер.

В первый кластер вошли семь образцов: 4 из Западной Европы, 2 из Бразилии, один из Эфиопии. Образцы имели низкую урожайность (265–291 г/м²) и показатели, характеризующие продуктивность метелки ниже стандарта (таблица 1). Масса метелки варьировала от 0,79 г у Bounteful (к-15104, Великобритания) до 1,39 г у Bugguu (к-15507, Германия). Средняя масса зерна с метелки в кластере 0,77 г (от 0,59 г до 0,92 г).

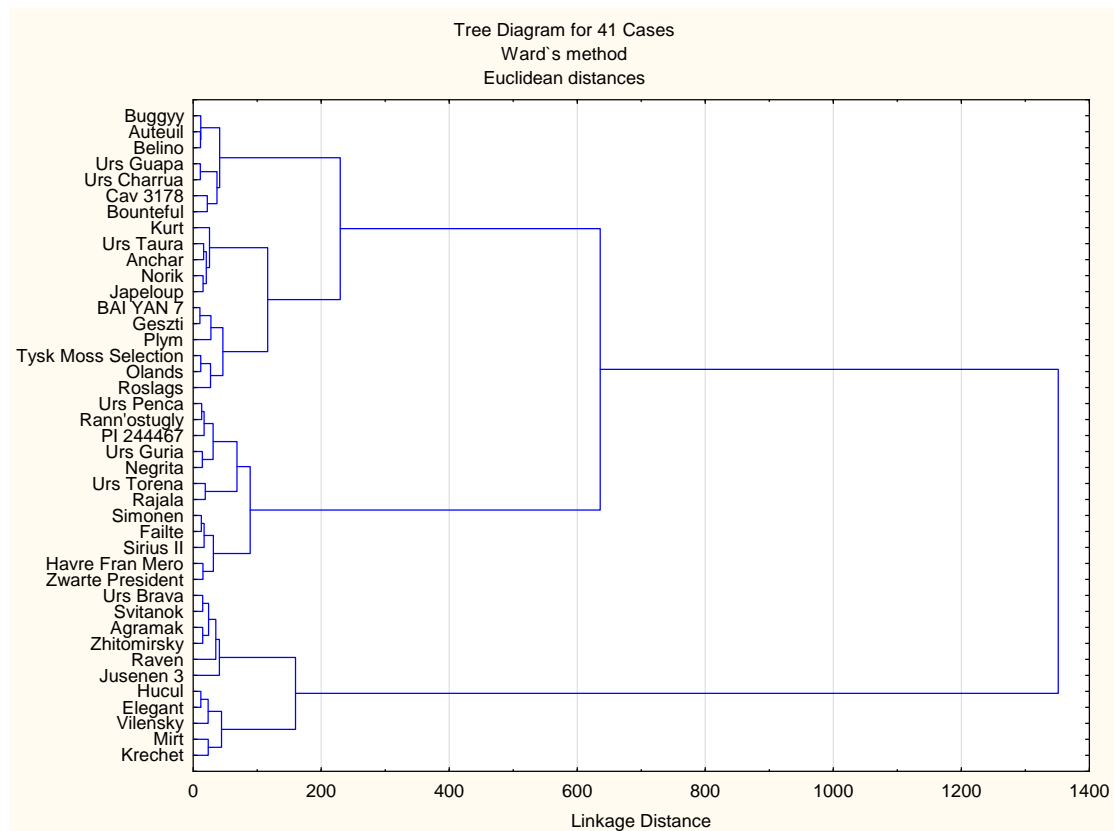


Рисунок 2 – Дендрограмма кластеризации образцов коллекции пленчатого овса по основным хозяйственно ценным признакам (среднее за 2019–2021 гг.)

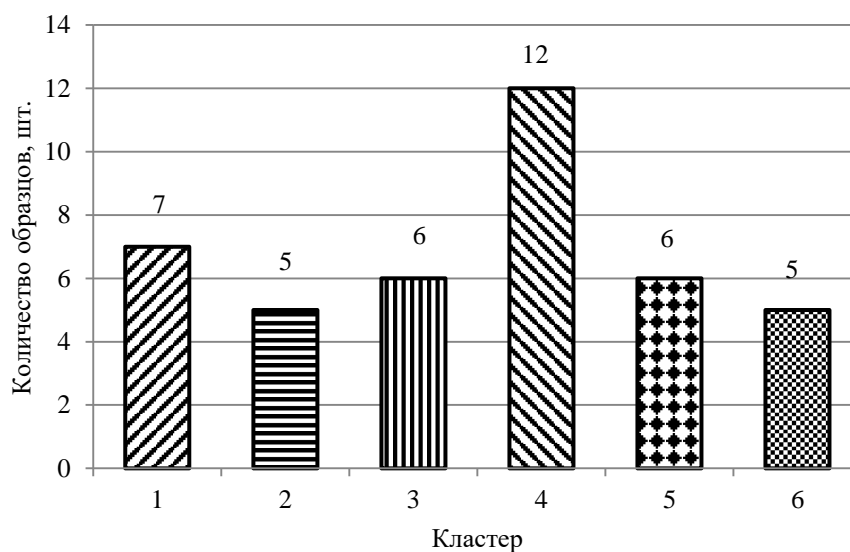


Рисунок 3 – Количественное распределение образцов овса по кластерам (среднее за 2019–2021 гг.)

Таблица 1 – Характеристика образцов пленчатого овса первого кластера по хозяйственно ценным признакам (среднее за 2019–2021 гг.)

Каталог	Образец	Урожайность, г/м ²	Высота растений, см	Масса метелки, г	Продолжительность периода «всходы–восковая спелость», сут	Масса зерна с метелки, г	Масса 1000 зерен, г
к-15507	Buggy	283 ± 55	58,8 ± 3,8	1,39 ± 0,03	78 ± 6	0,89 ± 0,17	37,3 ± 2,9
к-15400	Auteuil	287 ± 61	67,9 ± 2,8	1,23 ± 0,10	76 ± 7	0,83 ± 0,09	34,0 ± 2,8
к-15403	Belino	285 ± 77	58,0 ± 3,0	0,94 ± 0,07	73 ± 10	0,75 ± 0,06	33,4 ± 2,5
к-15484	Urs Guara	265 ± 129	72,0 ± 8,6	1,11 ± 0,14	77 ± 6	0,78 ± 0,12	41,9 ± 5,8
к-15486	Urs Charrua	274 ± 97	72,4 ± 5,8	0,87 ± 0,10	74 ± 8	0,59 ± 0,09	35,8 ± 2,4
к-14461	CAV 3178	277 ± 15	88,5 ± 3,3	1,18 ± 0,22	73 ± 7	0,92 ± 0,14	31,7 ± 4,1
к-15104	Bounteful	291 ± 44	81,7 ± 1,1	0,79 ± 0,24	80 ± 4	0,60 ± 0,21	24,8 ± 3,6
Среднее		280 ± 3	71,3 ± 4,2	1,07 ± 0,08	76 ± 1	0,77 ± 0,05	34,1 ± 2,0
НСР ₀₅		67	9,2	0,20	1	0,11	2,2

Среди них два образца отнесены к раннеспелым (73 дня) – низкорослый (58,0 см) Belino (к-15403, Франция) и среднерослый (88,5 см) CAV 3178 (к-14461, Эфиопия). Остальные были среднеспелыми (74–80 дней) с высотой растений 58,8–81,7 см. Зависимость урожайности от продолжительности периода вегетации менялась от достоверной отрицательной в 2019 г. ($r = -0,445$, при $p \geq 0,95$) до положительной в 2020 г. ($r = 0,472$, при $p \geq 0,95$). В соответствии с результатами исследований Козленко [13] раннеспелые образцы целесообразно включать в скрещивания для получения скороспелых генотипов овса.

Во втором кластере пять низкорослых образцов с высотой растений от 50,4 см у Kurt (к-15511, Германия) до 76,6 см у Анчар (к-14270, Россия). Период вегетации данных образцов более продолжительный (76–82 дня) относительно стандарта Кречет (74 дня). Средняя масса 1000 зерен в кластере 34,0 г, при низких показателях продуктивности (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика образцов пленчатого овса второго кластера по хозяйственно ценным признакам (среднее за 2019–2021 гг.)

Каталог	Образец	Урожайность, г/м ²	Высота растений, см	Масса метелки, г	Число зерен, шт.	Масса зерна с метелки, г	Продолжительность периода «всходы–восковая спелость», сут
к-15511	Kurt	324 ± 31	50,4 ± 2,8	1,16 ± 0,13	24 ± 3	0,79 ± 0,12	82 ± 5
к-15489	Urs Taura	317 ± 77	65,7 ± 9,8	1,19 ± 0,26	23 ± 6	0,84 ± 0,19	76 ± 8
к-15270	Анчар	322 ± 60	76,6 ± 5,8	1,22 ± 0,18	28 ± 5	0,85 ± 0,23	78 ± 5
к-15710	Norik	336 ± 94	70,2 ± 4,2	1,49 ± 0,13	27 ± 5	1,07 ± 0,21	78 ± 7
к-15402	Japelour	328 ± 47	62,6 ± 1,5	1,62 ± 0,19	35 ± 1	1,10 ± 0,08	76 ± 7
Среднее		326 ± 3	65,1 ± 4,2	1,62 ± 0,08	27 ± 2	0,93 ± 0,05	78 ± 1
НСР ₀₅		67	9,2	0,20	3	0,11	1

Средняя урожайность образцов второго кластера варьировала от 317 г/м² у Urs Taura (к-15489, Бразилия) до 336 г/м² Norik (к-15710, Словакия).

Третий кластер составили шесть в основном среднепоздних образцов (75–80 дней), выделенных по высоте растений (таблица 3).

Образцы данного кластера актуально использовать при создании сортов зерноукосного направления с продолжительным периодом вегетации. Урожайность зерна образцов третьего кластера была на уровне второго кластера и в среднем составила 319 г/м².

Таблица 3 – Характеристика образцов пленчатого овса третьего кластера по хозяйственно ценным признакам (среднее за 2019–2021 гг.)

Каталог	Образец	Урожайность, г/м ²	Высота растений, см	Масса метелки, г	Число зерен, шт.	Масса зерна с метелки, г	Период «всходы – восковая спелость», сут
к-15524	Bai Yan 7	313 ± 55	103,5 ± 1,3	1,81 ± 0,24	33 ± 5	1,20 ± 0,11	80 ± 6
к-15297	Gesztí	313 ± 152	107,9 ± 5,3	1,59 ± 0,17	29 ± 4	0,93 ± 0,10	78 ± 7
к-15057	Plym	298 ± 34	94,4 ± 10,3	1,67 ± 0,45	43 ± 12	1,28 ± 0,36	77 ± 7
к-15697	Tysk Moss Selection	327 ± 86	88,3 ± 1,7	1,01 ± 0,22	23 ± 5	0,68 ± 0,18	75 ± 8
к-15700	Olands	328 ± 100	95,5 ± 3,6	1,25 ± 0,06	23 ± 2	0,83 ± 0,04	79 ± 6
к-15058	Roslags	335 ± 59	106,2 ± 4,8	1,69 ± 0,36	37 ± 6	1,15 ± 0,22	78 ± 8
Среднее		319 ± 6	99,3 ± 3,2	1,50 ± 0,13	32 ± 3	1,01 ± 0,10	78 ± 1
НСР ₀₅		67	9,2	0,20	3	0,11	1

Установлена положительная слабая зависимость урожайности зерна от высоты растений ($r = 0,165$, при $p \geq 0,95$). Высокая положительная связь получена между показателями «число зерен в метелке» и «масса зерен с метелки и с растения» ($r = 0,935$ и $r = 0,850$ соответственно, при $p \geq 0,95$). Поскольку озерненность метелки наследуется доминантно [14], образцы данного кластера следует использовать в качестве источников на увеличение числа зерен в метелке.

Самый многочисленный в исследованиях четвертый кластер, в него вошли 12 образцов с наиболее низкой урожайностью (в среднем 233 г/м²), невысокими показателями продуктивности метелки и растения (таблица 4). Высота растений образцов 4 кластера варьировала от 67,3 до 99,3 см.

Таблица 4 – Характеристика образцов пленчатого овса четвертого кластера по хозяйственно ценным признакам (среднее за 2019–2021 гг.)

Каталог	Образец	Урожайность, г/м ²	Высота растений, см	Масса метелки, г	Число зерен шт.	Масса зерна с растения, г	Масса 1000 зерен, г
15483	Urs Pensa	248 ± 50	67,3 ± 2,5	0,91 ± 0,06	18 ± 3	0,67 ± 0,03	33,6 ± 3,4
15503	Ранннотыглый	256 ± 44	74,3 ± 2,2	1,41 ± 0,19	22 ± 2	1,16 ± 0,01	40,6 ± 1,9
15033	PI 244467	247 ± 62	83,3 ± 3,5	0,98 ± 0,13	18 ± 5	0,74 ± 0,20	35,4 ± 2,9
15487	Urs Guria	230 ± 63	70,1 ± 2,3	1,05 ± 0,15	15 ± 1	0,70 ± 0,02	40,4 ± 3,2
14516	Negrita	235 ± 62	67,3 ± 4,5	1,08 ± 0,14	24 ± 2	1,30 ± 0,13	37,0 ± 1,1
15488	Urs Torena	209 ± 80	68,6 ± 6,9	0,90 ± 0,27	15 ± 5	0,71 ± 0,29	36,5 ± 3,3
15048	Rajala	210 ± 42	81,9 ± 8,5	1,45 ± 0,33	26 ± 11	1,15 ± 0,52	37,9 ± 4,7
15042	Simonen	234 ± 53	91,5 ± 3,6	1,73 ± 0,42	38 ± 10	1,37 ± 0,37	31,2 ± 1,3
14998	Failte	240 ± 63	99,0 ± 0,8	1,93 ± 0,36	38 ± 8	1,27 ± 0,30	32,0 ± 1,6
15054	Sirius II	247 ± 61	91,8 ± 4,6	1,68 ± 0,33	32 ± 10	1,62 ± 0,48	39,3 ± 4,7
15698	Havre Fran Mero	217 ± 86	99,3 ± 6,5	1,79 ± 0,32	38 ± 6	1,56 ± 0,43	34,3 ± 1,8
14964	Zwarte President	227 ± 41	96,8 ± 6,6	1,28 ± 0,29	26 ± 10	1,11 ± 0,33	34,4 ± 2,5
Среднее		233 ± 4	82,6 ± 3,7	1,35 ± 0,11	26 ± 3	1,07 ± 0,10	35,6 ± 1,0
НСР ₀₅		67	9,2	0,20	3	0,17	2,2

Образцы четвертого кластера могут быть отнесены к бесперспективным для использования в селекции.

Пятый кластер состоит из шести образцов, урожайность которых в среднем составила 382 г/м²: от 363 г/м² у Raven (к-15405, Чехия) до 394 г/м² у образцов Аргамак (к-14648, Россия) и Житомирский (к-15502, Украина). Последний имел максимальную величину показателя «крупность зерен» во всем наборе изученных образцов – 44,7 г (таблица 5).

Образцы пятого кластера актуальны в качестве исходных форм для увеличения признака «масса тысячи зерен», для признака показаны положительные доминантные аллели, обеспечивающие его увеличение [15].

Таблица 5 – Характеристика образцов пленчатого овса пятого кластера по хозяйственно ценным признакам (среднее за 2019–2021 гг.)

Каталог	Образец	Урожайность, г/м ²	Высота растений, см	Масса метелки, г	Число зерен, шт.	Масса зерна с растения, г	Масса 1000 зерен, г
15490	Urs Brava	381 ± 74	82,1 ± 3,6	1,27 ± 0,28	27 ± 8	0,89 ± 0,26	34,5 ± 1,6
15504	Свитанок	383 ± 82	71,0 ± 4,5	0,96 ± 0,19	18 ± 5	0,64 ± 0,24	34,2 ± 3,3
14648	Аргмак	394 ± 68	75,7 ± 3,5	1,70 ± 0,59	36 ± 12	1,25 ± 0,43	34,0 ± 1,6
15502	Житомирский	394 ± 71	75,5 ± 3,4	1,64 ± 0,10	26 ± 2	1,16 ± 0,12	44,7 ± 5,2
15405	Raven	363 ± 96	69,9 ± 1,0	1,51 ± 0,24	33 ± 5	1,22 ± 0,23	37,3 ± 3,9
14881	Jusenен 3	378 ± 57	101,4 ± 8,1	1,58 ± 0,30	38 ± 10	1,19 ± 0,27	31,4 ± 0,6
Среднее		382 ± 5	79,3 ± 4,8	1,40 ± 0,11	30 ± 3	1,06 ± 0,10	36,0 ± 1,9
НСР ₀₅		67	9,2	0,20	3	0,17	2,2

В шестой кластер вошли четыре образца: Нисул (к-15709, Словакия), Виленский (к-15499, Россия), Элегант (к-15463, Р. Беларусь), Мирт (к-15500, Р. Беларусь) и стандарт Кречет (к-14857, Россия). Они имеют урожайность на уровне стандарта или выше, чем в других кластерах, относятся к низкорослым среднеспелым, имеют 1,2–1,4 продуктивных стеблей на растение (таблица 6).

Таблица 6 – Характеристика образцов пленчатого овса шестого кластера по хозяйственно ценным признакам (среднее за 2019–2021 гг.)

Каталог	Образец	Урожайность, г/м ²	Высота растений, см	Продуктивных стеблей на растении, шт.	Число зерен, шт.	Масса зерна с растения, г	Масса 1000 зерен, г
к-15709	Нисул	426 ± 105	73,8 ± 2,2	1,4 ± 0,1	41 ± 8	1,88 ± 0,37	39,0 ± 1,5
к-15499	Виленский	410 ± 46	87,2 ± 4,5	1,2 ± 0,1	34 ± 9	1,44 ± 0,32	42,0 ± 5,8
к-15463	Элегант	426 ± 79	82,7 ± 2,0	1,3 ± 0,3	37 ± 7	1,45 ± 0,34	32,2 ± 3,7
к-15500	Мирт	432 ± 91	72,9 ± 2,7	1,3 ± 0,2	21 ± 3	0,90 ± 0,23	35,2 ± 3,9
к-14857	Кречет (St.)	453 ± 65	71,9 ± 3,7	1,2 ± 0,1	30 ± 2	1,30 ± 0,13	37,0 ± 1,1
Среднее		429 ± 7	77,7 ± 3,1	1,3 ± 0	33 ± 4	1,39 ± 0,16	37,1 ± 1,7
НСР ₀₅		67	9,2	0,1	3	0,17	2,2

Вместе с этим средние значения других признаков, характеризующих продуктивность метелки у данных генотипов, преимущественно выше таковых у образцов других кластеров.

Выводы

Наибольший интерес для использования в качестве источников хозяйственно ценных признаков представляют образцы, вошедшие в шестой кластер: Нисул (к-15709, Словакия), Виленский (к-15499, Россия), Элегант (к-15463, Беларусь), Мирт (к-15500, Беларусь) и стандарт Кречет (к-14857, Россия). Урожайность образцов выше, чем в других кластерах и составила в среднем 429 г/м². Высота растений от 71,9 см у стандарта Кречет (к-14857, Россия) до 87,2 см у Виленский (к-15499, Россия). Число зерен (в среднем 33 штуки) и масса зерна с растения (в среднем 1,39 г) преимущественно выше, чем у сортообразцов, образовавших другие кластеры.

Для включения в селекционный процесс по отдельным признакам представляют интерес:

– в селекции на увеличение показателя «масса 1000 зерен» образцы из пятого кластера: Urs Brava (к-15490, Бразилия), Свитанок (к-15504, Украина), Аргмак (к-14648, Россия), Житомирский (к-15502, Украина), Raven (к-15405, Чехия). Данный показатель варьировал от 31,4 г до 44,7 г. и в среднем составил 36,0 г;

– в селекции на зерноукосные цели и для увеличения озерненности метелки образцы третьего кластера: Bai Yan 7 (к-15524, Китай), Geszti (к-15297, Венгрия), Plym (к-15257, Швеция), Tysk Moss Selection (к-15697, Швеция), Olands (к-15700, Швеция),

Roslags (к-15058, Швеция). Высота растений у образцов в среднем составила 99,3 см с периодом вегетации «всходы – восковая спелость» от 75 до 80 дней. Число зерен в метелке находится в пределах 23–43 штуки.

Литература

1. Баталова Г. А., Лисицын Е. М., Вологжанина Е. Н., Журавлева Г. П. Влияние дозы и времени обработки препаратом «КАС 28» на развитие растений овса // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 9–21. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-9-21.
2. Лоскутов И. Г. Современная система рода *Avena* L. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2006. Т. 162. С. 84–97.
3. Абугалиева С. И., Середа Г. А., Чудинов В. А., Сариев Б.С., Турусбеков Е.К. Анализ хозяйственно-ценных признаков мировой коллекции овса, выращенной в трех различных регионах Казахстана // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2013. Т. 171. С. 168–174. EDN: UAEDLV.
4. Варгач Ю. И., Лоскутов И. Г. Особенности хозяйственно ценных признаков культурного овса в Центральном Нечерноземье РФ // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 72. С. 67–72. DOI: 10.21515/1999-1703-72-67-72. EDN: UYSJTX.
5. Петрова Л. В. Оценка коллекционных сортообразцов овса посевного (*Avena sativa* L.) по хозяйственно ценным признакам методом кластерного анализа в условиях Центральной Якутии // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 5(383). С. 46–50. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-5-46-50. EDN: ZZTLJF.
6. Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В., Чегунова А. В. Кластерный анализ коллекционного материала гороха с генами усатого типа листа (af) и неосыпаемости семян (def) // Зерновое хозяйство России. 2021. № 2(74). С. 40–44. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-40-44. EDN: DUSXER.
7. Khodadadi M., Fotokian M. H., Miransari M. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on cluster and principal component analyses for breeding strategies // Aust. J. Crop Sci. 2011. No. 5(1). P. 17–24.
8. Гудова Л. А., Зайцев С. А., Жужукин В. И., Курасова Л. Г., Лекарев А. В. Использование методов многомерной статистики для оценки модельной популяции кукурузы // Аграрный научный журнал. 2021. № 7. С. 9–15. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp9-15.
9. Вус Н. А., Кобызева Л. Н., Безуглая О. Н. Определение селекционной ценности коллекционных образцов нута (*Cicer arietinum* L.) методом кластерного анализа // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24. № 3. С. 244–251. DOI: 10.18699/VJ20.617.
10. Лоскутов И. Г., Ковалева О. Н., Блинова Е. В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР, 2012. 63 с.
11. Великовский В., Бареш А., Форел А., Сегналова Я., Одегнал В., Войстржак Й., Лонгауэр, И., Трка М., Кобылянский В. Д., Родионова Н. А., Солдатов В. Н., Корнейчук В. А., Ярош Н. П. Международный классификатор СЭВ рода *Avena* L. Л.: Всесоюзный НИИ растениеводства имени Н. И. Вавилова (ВИР), 1984. 39 с.
12. Казыдуб Н. Г., Маракаева Т. В., Коробейникова М. М., Епанчинцев М. В. Отбор перспективных образцов для селекции фасоли с использованием кластерного анализа в условиях Южной лесостепи Западной Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2014. № 4(16). С. 8–14.
13. Козленко Л. В. Овсы США и Канады – исходный материал для селекции в Нечерноземной зоне // Селекция овса: Труды НИИСХ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого. Киров, 1976. С. 75–87.
14. Солдатов В. Н., Баталова Г. А. Наследование признаков продуктивности метелки у овса // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1989. Т. 129. С. 129–133.
15. Козленко Л. В. Генетические принципы селекции овса // Вестник сельскохозяйственной науки. 1981. № 9. С. 51–54.

References

1. Batalova G. A., Lisitsyn E. M., Vologzhanina E. N., Zhuravleva G. P. Effect of timing and dosage of “KAS 28” application on oat plants development // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 9–21. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-9-21.
2. Loskutov I. G. Modern system of the genus *Avena* L. // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2006. Vol. 162. P. 84–97.

3. Abugalieva S. I., Sereda G. A., Chudinov V. A. Sariiev B.S., Turuspekov Y.K. Agronomic traits variability of world collection of oat grown in three regions of Kazakhstan // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2013. Vol. 171. P. 168–174. EDN: UAEDLV.
4. Vargach Yu. I., Loskutov I. G. Features of valuable traits of oats in the Non-Chernozem zone of the Central Region of Russian Federation // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2018. No. 72. P. 67–72. DOI: 10.21515/1999-1703-72-67-72. EDN: UYSJTX.
5. Petrova L. V. Evaluation of collection varietal samples of sown oats (*Avena sativa* L.) by economically valuable characteristics by the method of cluster analysis in the conditions of Central Yakutia // Mezhdunarodnyi Sel'skokhozyaistvennyi Zhurnal. 2021. No. 5(383). P. 46–50. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-5-46-50. EDN: ZZTLJF.
6. Ashiev A. R., Khabibullin K. N., Skulova M. V., Chegunova A. V. Cluster analysis of collection material of peas with genes of leafletless type (af) and non-shedding seeds (def) // Grain Economy of Russia. 2021. No. 2(74). P. 40–44. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-40-44. EDN: DASKER.
7. Khodadadi M., Fotokian M.H., Miransari M. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on cluster and principal component analyses for breeding strategies // Aust. J. Crop Sci. 2011. No. 5(1). P. 17–24.
8. Gudova L. A., Zaitsev S. A., Zhuzhukin V. I., Kurasova L. G., Lekarev A. V. Using multivariate statistical methods to estimate the model maize population // The Agrarian Scientific Journal. 2021. No. 7. P. 9–15. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp9-15.
9. Vus N. A., Kobzeva L. N., Bezuglaya O. N. Determination of the breeding value of collection chickpea (*Cicer arietinum* L.) accessions by cluster analysis // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. Vol. 24. No. 3. P. 244–251. DOI: 10.18699/VJ20.617.
10. Loskutov I. G., Kovaleva O. N., Blinova E. V. Guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oat. Saint Petersburg: VIR, 2012. 63 p.
11. Velikovskiy V., Baresh A., Forel A., Segnalova Ya., Odegnal V., Voistrzhak Y., Longauer I., Trnka M., Kobylansky V. D., Rodionova N. A., Soldatov V. N., Korneychuk V. A., Yarosh N. P. International classifier of the CMEA genus *Avena* L. Leningrad: All-Union Research Institute of Plant Growing named after N. I. Vavilov (VIR), 1984. 39 p.
12. Kazydub N. G., Marakaeva T. V., Korobeynikova M. M., Epanchintsev M. V. Selection of perspective standards for selection of kidney bean with the use of cluster analysis in the conditions of south forest-steppe of Western Siberia // Vestnik of Omsk SAU. 2014. No. 4(16). P. 8–14.
13. Kozlenko L. V. Oats from USA and Canada as initial materials for breeding in Non-Chernozem Zone // In book: Oats breeding. Works of North-East Agricultural Research Institute named after N.V. Rudnitsky. Kirov, 1976. P. 75–87.
14. Soldatov V. N., Batalova G. A. Inheriting panicle productivity traits in oats // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 1989. Vol. 129. P. 129–133
15. Kozlenko L.V. Genetic principles of oats breeding // Vestnik of the Russian agricultural science. 1981. No. 9. P. 51–54.

UDC 633.13:631.559

Krotova N. V., Batalova G. A.

CLUSTERING OF COLLECTION SAMPLES OF COVERED OATS

Summary. Cluster analysis makes it possible to evaluate oat samples at the early stages of the breeding process. The purpose of the research was to isolate samples with economically valuable traits. The research was carried out in 2019-2021 in a collection nursery at the experimental field of the Federal Agricultural Research Center of the North-East (Kirov region). Forty samples of filmy oats of various ecological and geographical origin were studied; standard – hulled (covered) oat cv. ‘Krechet’ (κ-14857, Kirov region). Square of experimental plots was 1 m², triple replication. To analyze the results, AGROS 2.07 and Microsoft Office Excel 2007 were used. Cluster analysis of samples using Statistica 10 for a set of characteristics (duration of the interphase period of “germination–dough development”, yield, productive tillering, plant height, panicle mass, number of grains in a panicle, mass of grains from a panicle and from a plant, 1000 grains weight) was carried out according to the Warde method. Euclidean distance, which represents the geometric distance between the coordinates of the indicators of a certain sample, served as the principle for results processing. Samples of cluster 6, namely ‘Hucul’ (κ-15709, Slovakia),

'Vilensky' (k-15499, Russia), 'Elegant' (k-15463, Belarus), 'Mirt' (k-15500, Belarus) and standard 'Krechet' (k-14857, Russia) attract interest as sources of valuable economic characteristics. Their yield averaged 429 g/m². The number of grains (on average 33 pieces) and the weight of grain from the plant (on average 1.39 g) were higher than that of cultivars of other clusters. According to some signs, samples from cluster 5 are of interest as initial forms for improving "1000 grains weight" indicator. They are 'Urs Brava' (k-15490, Brazil), 'Svitanok' (k-15504, Ukraine), 'Argamak' (k-14648, Russia), 'Zhytomirsky' (k-15502, Ukraine), 'Raven' (k-15405, Czech Republic). This indicator varied from 31.4 to 44.7 g. In breeding for grain-bearing purposes and increment of grain content in a panicle, we recommend samples from cluster 3: 'Bai Yan 7' (k-15524, China), 'Geszi' (k-15297, Hungary), 'Plym' (k-15257, Sweden), 'Tysk Moss Selection' (k-15697, Sweden), 'Olands' (k-15700, Sweden), 'Roslags' (k-15058, Sweden). The average height of plants was 99.3 cm with the duration of the interphase period of "germination–dough development" in the range of 75–80 days. The number of grains in the panicle was in the range of 23... 43 pieces.

Keywords: oats (*Avena sativa* subsp. *sativa*), cluster analysis, yield, panicle mass, grain mass per panicle.

Кротова Надежда Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, лаборатория селекции овса, ФГНБУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; г. Киров, ул. Ленина, 166а, 610007, Россия; e-mail: nadja.1979@yandex.ru.

Баталова Галина Аркадьевна, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заместитель директора, ФГНБУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; г. Киров, ул. Ленина, 166а, 610007, Россия; e-mail: g.batalova@mail.ru.

Krotova Nadezhda Viktorovna, Cand. Sc. (Agr.), Laboratory of oat breeding, FSBSI "Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky"; 166 a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: nadja.1979@yandex.ru.

Batalova Galina Arkadievna, Dr. Sc. (Agr.), member of the RAS, deputy director, FSBSI "Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky"; 166 a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: g.batalova@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 13.04.2022.

Дата принятия к печати – 25.05.2022.

УДК 631.51
EDN SLAEIC

Маслов Г. Г., Трубилин Е. И., Цыбулевский В. В., Василенко Н. Б.

**ФУНКЦИЯ ХАРРИНГТОНА В ИССЛЕДОВАНИЯХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина»

Реферат. Подтверждена возможность использования функции желательности Харрингтона в научных исследованиях по обоснованию лучшей машины из альтернативных вариантов при механизации производственных процессов в растениеводстве. Оптимальный вариант определяется максимальным значением обобщенного D_i -показателя при анализе сравниваемых машин. Обобщенный показатель D_i рассчитан по функции Харрингтона с использованием четырех частных оценочных показателей сравниваемых машин. Исследования проводили в 2021–2022 гг. В работе сравнивали четыре марки катков по четырем показателям оценки. Получены достоверные зависимости, подтвержденные критерием Кохрена, перевода натуральных значений частных показателей в безразмерные для построения шкалы и функции желательности по каждому показателю. Получены безразмерные значения частных оценочных показателей, используемых для расчета обобщенного D_i -показателя, как среднее геометрическое значение четырех безразмерных показателей. Для принятия решения по выбору эффективного катка изучены графический и аналитический подходы. По максимальному значению D_i -показателя комплексной оценки обоснована лучшая конструкция вибрационного прикатывающего катка со значением $D_i = 0,713$. Практическое значение предлагаемого подхода состоит в его удобном применении для сельскохозяйственных предприятий при их комплектовании наиболее эффективной сельхозтехникой из сравниваемых вариантов, что позволит повысить конкурентоспособность сельхозпроизводителей. Субъективность подходов к техническому оснащению сельхозпредприятий, основанных только на практическом опыте работы, не может дать высокой отдачи от используемых машин.

Ключевые слова: техника, технология, шкала, график, функция, оптимум, параметры, показатель, комплексная оценка.

Для цитирования: Маслов Г. Г., Трубилин Е. И., Цыбулевский В. В., Василенко Н. Б. Функция Харрингтона в исследованиях сельскохозяйственной техники // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 116–124. EDN: SLAEIC.

For citation: Maslov G. G., Trubilin E. I., Tsybulevsky V. V., Vasilenko N. B. The Harrington's function in the agricultural machinery research // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 116–124. EDN: SLAEIC.

Введение

От качества техники, используемой в сельском хозяйстве, зависит количество и конкурентоспособность получаемой продукции. От применяемых машин и технологий требуется дальнейшее повышение производительности труда, качество работы и снижение затрат. В настоящее время в ускорении научно-технического прогресса важнейшую роль играют новые инновационные подходы к механизации производственных процессов, создание машин с лучшими технико-экономическими показателями. Но для правильного научно обоснованного принятия решений по выбору средств механизации необходимы объективные и достоверные методы исследований. Например, в механизации растениеводства хорошие результаты

показали зарубежные машины. Они обеспечивают своевременное и качественное выполнение полевых работ. Однако рост производительности новой техники не всегда сопровождается адекватным снижением затрат на производство продукции. Иногда не учитывается негативное влияние новой техники, особенно тяжелых дорогостоящих машин на строгое выполнение требований систем земледелия [1], сохранение плодородия почвы, снижение травмирования убираемого урожая. Все это надо учитывать при окончательном решении по выбору той или иной машины или технологии. При исследовании сельскохозяйственной техники должна проводиться комплексная оценка машины и технологий, и только по этому показателю должно отдаваться предпочтение лучшему варианту [2].

Цель исследований – на примере разработанного прицепного катка показать возможность применения функции желательности Харрингтона для объективного принятия решения. Выбираемая машина по комплексному (обобщенному) показателю должна иметь преимущество по агрономической, технической и экономической оценке.

Значимость для науки представляет совершенствование функции Харрингтона для производства – объективный метод выбора лучшего варианта машин для сельхозпредприятий. Известные методы [5, 6] для этой цели трудоемкие и недостаточно информативные для принятия решения.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2021–2022 гг.

Для принятия решения в выборе лучшей техники применяют метод комплексной оценки по обобщенному показателю D_i , учитывающему влияние многих частных оценочных показателей со своими единицами измерений.

Модернизация функции Харрингтона для исследования сельскохозяйственной техники начинается с упразднения отрицательного участка шкалы y' (рисунок 1, б), и теперь нулевое ее значение начинается числом 0,3 шкалы желательности d_j . Также, как и в функции Харрингтона, шкала y' заканчивается числом 4 без единиц измерения. Кривая желательности d_j для любой изучаемой i -ой машины начинается с точки 0,3 функции и заканчивается значением, приближающимся к единице. Таким образом, благодаря модернизации все рассчитываемые значения оценочных показателей i -ой машины при переводе их на j -ю шкалу y' будут иметь только положительные значения. Поэтому функция желательности d_{ij} и обобщенный критерий D_i будут также только положительными. При решении наших задач с использованием функции Харрингтона с ее осями координат (рисунок 1, а) могут иметь место отрицательное значение функции d_{ij} и критерия D_i , что не позволит применять их для сравнительного анализа.

Ранее выполненные нами исследования сельскохозяйственной техники с применением функции Харрингтона показали интересные результаты по выбору лучшего варианта из группы сравниваемых машин одного и того же назначения: отвальные плуги, культиваторы, катки, бороны, сеялки, свекло- и зерноуборочные комбайны и др. При этом важно правильно установить частные i -ые оценочных показателей с единицами измерений. Эти показатели должны главным образом определять достоинства сравниваемых машин, определяющих конечный результат. Так, например, при оценке отвальных плугов для вспашки главными, на наш взгляд, частными оценочными показателями могут быть: металлоемкость, качество крошения, выровненность профиля, энергоемкость, эксплуатационные затраты, затраты труда. При оценке зерновых сеялок в числе оценочных показателей могут быть: равномерность глубины заделки семян (что во многом определяет будущий урожай высеваемой культуры), оптимальная плотность посевного слоя (до 1,3 г/см³),

наличие прослойки почвы между семенами и удобрениями, а также металлоемкость, энергоемкость процесса, эксплуатационные затраты и затраты труда. Для зерноуборочных комбайнов очень важны потери зерна, минимальное травмирование, эксплуатационные затраты, металло- и энергоемкость. При оценке свеклоуборочных комбайнов также важны потери урожая, эксплуатационные затраты, металло- и энергоемкость, травмирование корней при уборке. Использование перечисленных частных j -ых оценочных показателей позволит объективно подойти к расчету обобщенного критерия D и в целом к принятию решения [2].

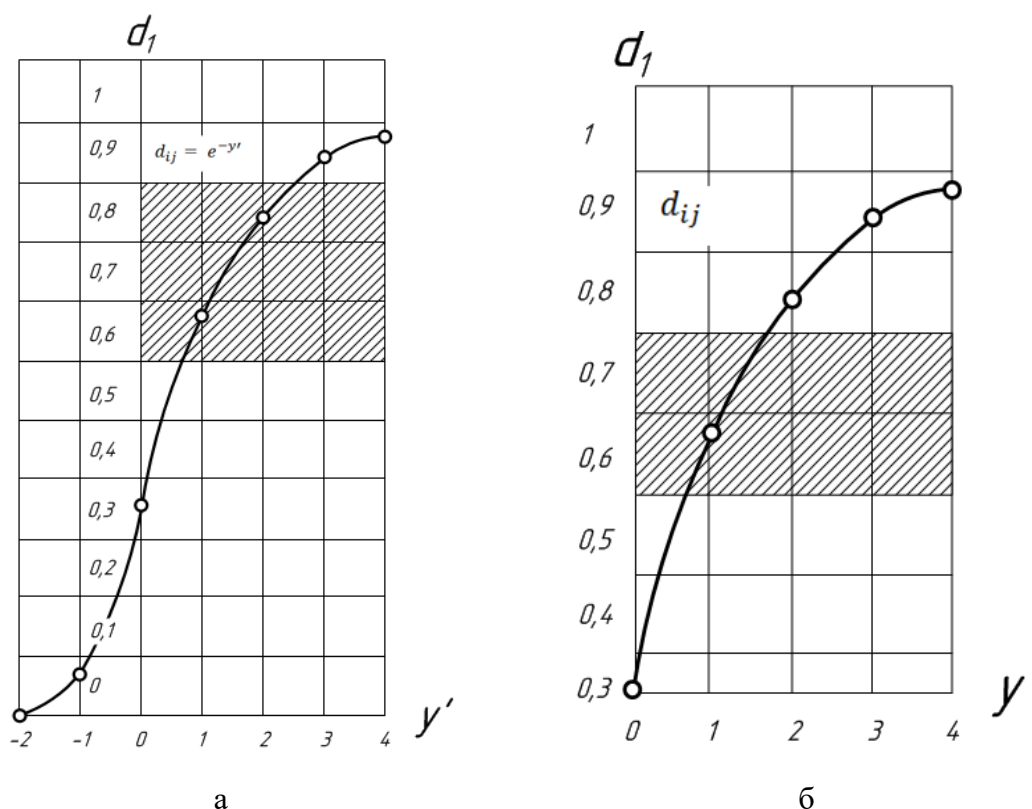


Рисунок 1 – График функции Харрингтона

Примечание. а) – с положительной и отрицательной шкалой y' ; б) – с положительной шкалой y' .

Точками A и B на рисунке 2 показан пример построения шкал частных оценочных показателей X_1 и X_2 с заданными единицами измерения, начало координат осей y' и d (желательность показателей оценки), точка A – пересечения кривой желательности d с минимальными значениями частных оценочных показателей (X_{min}^n – минимального значения первого оценочного показателя X_1 на прямой Π шкалы и X_{max}^n – максимального). Точка B – пересечение кривой желательности d с минимальным значением второго оценочного показателя X_2 на обратной O шкале X_{min}^n , а точка A – максимального X_{max}^n . Точка C характеризует промежуточные значения оценочных показателей X_C на прямой (X_C^n) и обратной шкалах (X_C^0). Проекция точек A, C^n, B (см. рисунок 2) на шкалу d определяет величину желательности частных оценочных показателей соответственно точки $X_{min}^n, X_C^n, X_{max}^n$.

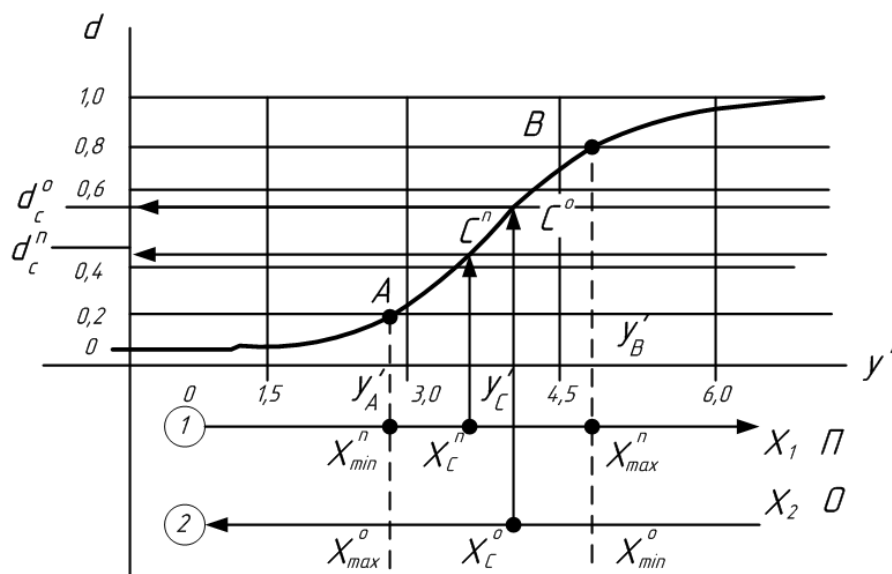


Рисунок 2 – Пример построения шкал оценочных показателей X_1 и X_2

Полученные таким образом графическим или аналитическим путем значения желательности d_j частных оценочных показателей используют при расчете обобщенного как среднее геометрическое. Максимальная его величина, стремящаяся к единице, определяет лучший вариант.

Аналитический метод перевода числового значения любого параметра любой размерности в безразмерную величину желательности позволяет решить задачу без построения графика функции.

Нами разработаны также зависимости для перевода измеренных значений оценочных показателей в кодовые для шкалы y' (см. рисунок 1).

Желательности j -показателя оценки по i -варианту, где n – количество показателей j мы рассчитали по специально разработанной компьютерной программе к ЭВМ. При этом использовали фактические значения оценочных показателей, полученных при испытаниях каждой машины [8].

Для оценки машин приняты четыре части оценочных показателей: коэффициент вариации плотности почвы V , удельная масса катка M , энергоёмкость процесса \mathcal{E} и эксплуатационные затраты I . Первый показатель U определяется по фактическим замерам плотности почвы при эксперименте и расчете его численного значения по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{m}, \quad (1)$$

где V – коэффициент вариации плотности почвы, %

σ – среднее арифметическое значение измерения показателей плотности, г/см^3 ,

m – среднее арифметическое значение этих показателей, г/см^3 .

Удельная масса катка M определяется в расчете на 1м его ширины захвата:

$$M = \frac{Q}{l}, \quad (2)$$

где Q – масса катка, кг,

l – ширина захвата катка, м.

Энергоёмкость \mathcal{E} процесса рассчитывается по известной формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{N}{W}, \quad (3)$$

где N – эффективная мощность двигателя трактора, эксплуатирующего машину, кВт,

W – производительность агрегата на заданной работе за 1 час основного времени, га/ч.

Величину эксплуатационных затрат U на выполнение заданного процесса находим также по известной формуле [3]:

$$U = Z + P_a + P_{\text{рем}} + H, \quad (4)$$

где N – эксплуатационные затраты на выполнения процесса, руб./га,

Z – оплата труда с отчислениями, руб./га,

P_a – амортизационные отчисления, руб./га,

$P_{\text{рем}}$ – затраты на ремонт и техобслуживание техники с учетом годовых отчислений, %,

H – общепроизводственные и общехозяйственные расходы, принимаем 4 % от зарплаты.

Обобщенный показатель комплексной оценки D_i на примере любой машины рассчитывается как среднегеометрическое по всем четырем показателям желательности d_i каждого из четырех частных оценочных показателей:

$$D_i = \sqrt[4]{\prod_1^n d_i}, \quad (5)$$

где D_i – обобщенный показатель комплексной оценки машины,

d_i – показатель функции желательности каждого частного i -го показателя в долях от единицы,

n – число частных оценочных показателей,

R_i – коэффициент весомости частного оценочного показателей.

Предпочтение из альтернативных машин отдается тем, которые получили наибольшее значение обобщенного показателя оценки D_i .

Рассмотрим на примере КВГ-1,4 расчет D_i по формуле [5]

$$D_3 = \sqrt[4]{0,504 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8} = 0,713$$

Для другой машины, например, ККЗ-10, вариант 2, $D_2=0,228$, что значительно ниже третьего D_3 варианта, которому отдается предпочтение.

Результаты и их обсуждение

Применение функции желательности Харрингтона позволило выбрать наиболее эффективный каток из сравниваемых. Это прицепной каток КВГ-1,4. Его преимущества в полученных значениях оценочных показателей (таблица), качество работы по коэффициенту равномерности плотности прикатанной почвы, больше чем у ЭК.

Экспериментальный каток (ЭК) отличается от всех других, приведенных в таблице, своим конструктивным исполнением, которое очень заметно повлияло на качество прикатывания. Коэффициент вариации плотности почвы самый минимальный получен по этому катку (всего 10,3 %). Такой равномерной плотности не получено ни по одному катку другой марки. Значит, ЭК более эффективен по влиянию на урожайность сельскохозяйственных культур. Такое качество уплотнения почвы обеспечивает пружинная подвеска цилиндра прикатывающего корпуса катка. Масса цилиндра катка передает свою энергию через два крестовинообразных блока пружин, создавая равномерное давление на почву. Если при этом прикатываются посе́вы, то равномерная плотность почвы обеспечивает дружные всходы, развитие и созревание растений [1], создавая предпосылки высокого урожая. ЭК по сравнению с тяжелыми катками ЗКШ-6А и ККЗ-10 имеет преимущество по всем частным оценочным показателям. Однако у последнего при более высоком обобщенном

показателе (0,713) затруднена настройка катка на необходимую величину удельного давления, создаваемую давлением воды в цилиндре катка. Этот недостаток нивелирует небольшое превышение обобщенного показателя (всего 0,114).

Таблица – Частные и обобщенные показатели комплексной оценки сравниваемых катков

Марка катка	Частные j -оценочные показатели								Обобщенный показатель D_i
	Коэффициент вариации плотности почвы, $V, \%$	d_1	Удельная масса катка, $q, \text{кН/м}$	d_2	Энергоемкость, $E, \text{МДж/га}$	d_3	Эксплуатационные затраты, $U, \text{р/га}$	d_4	
ЗККШ-6А	45	0,2	3,2	0,655	20	0,733	136	0,302	0,413
ККЗ-10	38	0,339	5,5	0,2	30	0,2	145	0,2	0,228
КВГ-1,4	30	0,504	2,1	0,8	18	0,8	85	0,8	0,713
Экспериментальный (ЭК)	10,3	0,8	2,9	0,701	20	0,733	135	0,314	0,599

Первый частный оценочный показатель по коэффициенту вариации плотности почвы после прикатывания варьирует в интервале 10,3 – 45 % (таблица). Это очень весомый показатель оценки машины, так как качество прикатывания почвы определяет величину урожая возделываемой сельскохозяйственной культуры [1, 9]. На данный момент серийные катки не выполняют агротребования по заданной равномерности плотности прикатанной почвы, и ее неравномерность доходит до 45 % [9]. Второй показатель по удельной металлоемкости катка (кН/м) также определяет качество прикатывания. Его величина была меньше, но при хорошем качестве прикатывания. Пока экспериментальный каток (ЭК) [8] по этому показателю уступает водоналивному КВГ – 1,4 (таблица). То же самое имеет место и по энергоемкости процесса прикатывания, и по эксплуатационным затратам. Все это повлияло на обобщенный показатель оценки ЭК, хотя его величина примерно одинакова с водоналивным катком ЗКВТ – 1,4 (см. таблицу).

Показатель комплексной оценки D_i (см. таблицу) самый низкий у двух последних марок катков, хуже у ЗККШ-6А (0,413) и особенно у ККЗ-10 (всего 0,228). У последнего три частных оценочных показателя из четырех – самые нежелательные из всех изучаемых катков, что и определило результаты анализа. По экспериментальному катку желательно снизить удельную металлоемкость конструкции, что обеспечит его бесспорную эффективность.

На рисунке 3 представлен график функций желательности и его применение для оценки сравниваемых катков и выбора лучшего варианта.

Пользуясь системой шкал А частных оценочных показателей, полученных в результате испытаний катков, и получив их граничные значения на графике в интервале желательности 0,2 – 0,8, получаем переходные отрезки В'С' – для прямых шкал оценочных показателей и ВС – для обратных. Этот, нами предложенный прием также относится к модернизации функции Харрингтона, так как не требует субъективной экспертной оценки для разработки шкал А. Теперь легко переходить от

показателей шкал А на безразмерную y' и от нее на функцию d , по которым рассчитывается обобщенный показатель D_i для каждой i -ой машины.

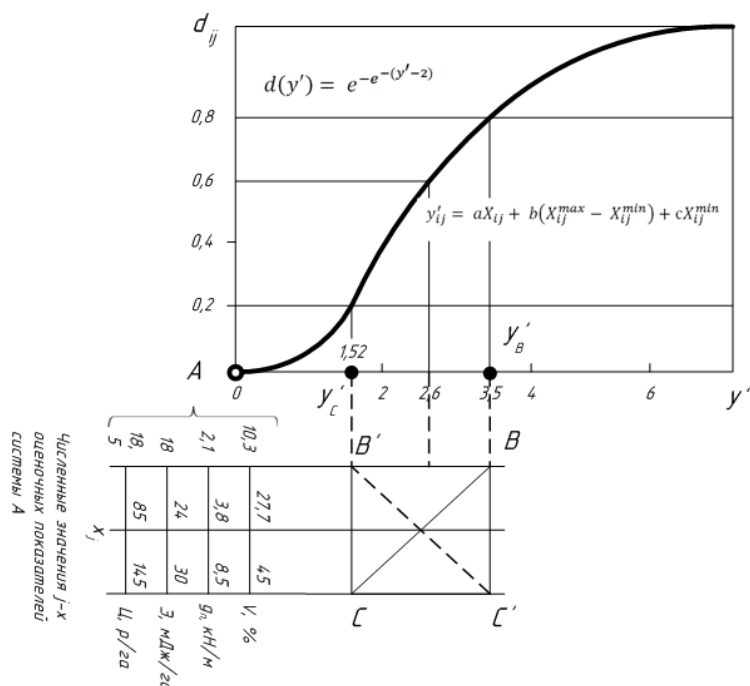


Рисунок 3 – Модернизированная функция желательности Харрингтона с прямой и обратной шкалой

Учитывая изложенное, применение функции Харрингтона в исследованиях сельскохозяйственной техники предполагает учет по возможности полного набора факторов факторов, влияющих на ее эффективность и ограничение их интервала. Затем одним из двух методов (графическим или аналитическим) рассчитывают желательности частных оценочных показателей по всем техническим средствам и обобщенный, максимальное значение которого, стремящееся к единице, определяет лучший вариант.

Выводы

Установлено эффективное применение функции Харрингтона для принятия объективного решения по выбору наиболее предпочтительных машин для механизации производственных процессов.

При выборе лучшего варианта из альтернативных машин по обобщенному D_i -показателю обоснована система из четырех частных оценочных показателей, получены достоверные зависимости для перевода значений из натуральных в безразмерные (шкала y'), рассчитаны желательности d_i каждого частного показателя и обобщенный – D_i . Наибольшее его значение, приближающееся к единице, определяет лучший вариант. В нашем примере – это прицепной вибрационный каток и водоналивной КВГ-1,4, значение обобщенного показателя D_i у которых 0,599–0,713, у других альтернативных катков значение D_i существенно ниже (0,228 и 0,413).

Литература

1. Коробко А. Н., Трубилин А. И., Нещадим Н. Н. Система земледелия Краснодарского края на агроланд Коробко А. Н., Трубилин А. И., Нещадим Н. Н. Система земледелия Краснодарского края на агроландшафтной основе. Краснодар: б/и, 2018. 352 с.

2. Tsybulevsky V.V., Maslov G.G., Tazmeev B.K. Feasibility study for choosing the best combine harvester design // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. V International Workshop on Innovations in Agro and Food Technologies (WIAFT-V-2021). 2021. Vol. 848. No. (1). Art. No. 012166. DOI: 10.1088/1755-1315/848/1/012166.
3. Harrington E. The desirability function // Industrial Quality Control. 1965. Vol. 21. No. 10. P. 494–498.
4. Маслов Г. Г., Юдина Е. М. Концепция нового подхода к механизации возделывания полевых культур // Таврический Вестник аграрной науки. 2020. № 1(21). С. 39–47. DOI: [10.33952/2542-0720-2020-1-21-39-47](https://doi.org/10.33952/2542-0720-2020-1-21-39-47).
5. Tsybulevsky V. V., Maslov G. G. Decision theory for choosing the best machine from alternative options // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IV International Scientific Conference: AGRITECH-IV-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. 2021. Vol. 677. No. (3). Art. No. 032097. DOI:10.1088/1755-1315/677/3/032097.
6. Konovalov V., Konovalov S., Igumnova V. Analytical study of the design parameters of the grinding unit of disk harrows // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019. 2019. Vol. 403. Art. No. 012086. DOI:10.1088/1755-1315/403/1/012086.
7. Serguntsov A., Malashikhin N. Harrowing of sowing with synchronous additional fertilizing // MATEC Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2018. 2018. Vol. 224. Art. No. 05016. DOI: 10.1051/mateconf/201822405016.
8. Патент № 196568. Вибрационный каток // Авторы: Маслов Г. Г., Ушаков Д. А. Опубл. 05.03.2020. Бюл. № 7.
9. Патент № 2525160 С1. Широкозахватный почвообрабатывающий агрегат // Авторы: Геер В. А., Геер С. В. Опубл. 10.08.2014. Бюл. № 22.

References

1. Korobko A. N., Trubilin A. I., Neshchadim N. N. Farming system of the Krasnodar Territory on an agrolandscape basis. Krasnodar, w/o ed. 2018. 352 p.
2. Tsybulevsky V.V., Maslov G.G., Tazmeev B.K. Feasibility study for choosing the best combine harvester design // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. V International Workshop on Innovations in Agro and Food Technologies (WIAFT-V-2021). 2021. Vol. 848. No. (1). Art. No. 012166. DOI: 10.1088/1755-1315/848/1/012166.
3. Harrington E. The desirability function // Industrial Quality Control. 1965. Vol. 21. No. 10. P. 494–498.
4. Maslov G. G., Yudina E. M. The concept of a new approach to the mechanization of field crops cultivation // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 1(21). P. 39–47. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-39-47.
5. Tsybulevsky V. V., Maslov G. G. Decision theory for choosing the best machine from alternative options // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IV International Scientific Conference: AGRITECH-IV-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. 2021. Vol. 677. No. (3). Art. No. 032097. DOI:10.1088/1755-1315/677/3/032097.
6. Konovalov V., Konovalov S., Igumnova V. Analytical study of the design parameters of the grinding unit of disk harrows // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019. 2019. Vol. 403. Art. No. 012086. DOI:10.1088/1755-1315/403/1/012086.
7. Serguntsov A., Malashikhin N. Harrowing of sowing with synchronous additional fertilizing // MATEC Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2018. 2018. Vol. 224. Art. No. 05016. DOI: 10.1051/mateconf/201822405016.
8. Patent No. 196568. Vibratory roller // Authors: Maslov G. G., Ushakov D. A. Publ. 05.03.2020. Bull. No. 7.
9. Patent No. 2525160 C1. Wide-cut tillage unit // Authors: Geer V. A., Geer S. V. Publ. 10.08.2014. Bull. No. 22.

UDC 631.51

Maslov G. G., Trubilin E. I., Tsybulevsky V. V., Vasilenko N. B.

THE HARRINGTON'S FUNCTION IN THE AGRICULTURAL MACHINERY RESEARCH

Summary. The possibility of using Harrington's desirability function in scientific research to justify the best machine from alternative options for the mechanization of

production processes in crop production has been confirmed. The optimal variant is determined by the maximum value of the generalized D_i -indicator in the analysis of the compared machines. The generalized indicator D_i is calculated by the Harrington's function using four particular estimated indicators of the compared machines. The studies were carried out in 2021–2022. In the work, four brands of rollers were compared according to four evaluation indicators. Reliable dependencies (confirmed by the Cochran criterion) were obtained for the conversion of natural values of partial indicators into dimensionless ones to build a scale and a desirability function for each indicator. Dimensionless values of partial evaluation indicators were obtained. They are used to calculate the generalized D_i -indicator as the geometric mean of four dimensionless indicators. To make a decision on the choice of an efficient roller, graphical and analytical approaches have been studied. According to the maximum value of the D_i -indicator of the complex assessment, the best design of the vibratory press roller with the value of $D_i = 0.713$ was substantiated. The practical significance of the proposed approach lies in its convenient application for agricultural enterprises when they are equipped with the most efficient agricultural machinery from the compared options, which will increase the competitiveness of agricultural producers. The subjectivity of approaches to the technical equipment of agricultural enterprises, if they are based only on practical experience, cannot give a high return on the machines used.

Keywords: *technique, technology, scale, graph, function, optimum, parameters, indicator, comprehensive assessment.*

Маслов Геннадий Георгиевич, доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина»; 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; e-mail: maslov-38@mail.ru.

Трубилин Евгений Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Процессы и машины в агробизнесе» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина»; 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; e-mail: trubilinei@mail.ru.

Цыбулевский Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина»; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; e-mail: valera-1913@mail.ru.

Василенко Наталья Борисовна, магистрант ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина»; 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; e-mail: vasilenko.n@mail.ru.

Maslov Gennadiy Georgievich, Dr. Sc. (Techn.), Professor, Department of operation of machine and tractor park, FSBEI HE “Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin”; 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia; e-mail: maslov-38@mail.ru.

Trubilin Evgeniy Ivanovich, Dr. Sc. (Techn.), Professor, Department of processes and machinery in agribusiness, FSBEI HE “Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin”; 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia; e-mail: trubilinei@mail.ru.

Tsybulevsky Valeriy Viktorovich, Cand. Sc. (Techn.), assistant professor, Department of tractors, cars and technical mechanics, FSBEI HE “Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin”; 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia; e-mail: valera-1913@mail.ru.

Vasilenko Natalia Borisovna, Master's Degree student of the FSBEI HE “Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin”; 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia; 13; e-mail: vasilenko.n@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 27.06.2022.

Дата принятия к печати – 29.07.2022.

УДК 631.43.+621.981
EDN TZKVCE

Моисеев К. Г.¹, Терлеев В. В.²

ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГИДРОФИЗИКЕ ПОЧВ

¹ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»;

²ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Реферат. Вододерживающая способность почвы описывается показателем, который называется основной гидрофизической характеристикой (ОГХ). Для расчета динамики почвенной влаги в ненасыщенной водой почве применяют уравнение Ричардса. Это дифференциальное уравнение в частных производных параболического типа не имеет аналитического решения, так как коэффициенты этого уравнения, описывающие гидрофизические свойства почвы, являются переменными. Поэтому задача построения моделей, описывающих эти свойства почвы, сохраняет свою актуальность в настоящее время. Задачей данного исследования является применение фрактальной модели (Pore – Solid – Fractal (PSF)) к расчету матричного потенциала почвенной влаги. В качестве объектов исследования выбраны разновидности почв земледелия Ленинградской области. Отобраны образцы агродерново-подзолов, агродерново-подзолистого типичного и агродерново-подзолистого глееватой почвы (Podzols, Albic Retisols & Stagnic Retisols (WRB; FAO, 2015)). Экспериментальные значения давления почвенной влаги в зависимости от значений объемной влажности почвы измерены на прессе Ричардса. Фрактальную размерность D капиллярно-пористой среды – почвы вычисляли с использованием экспериментальных данных об общей пористости почв и распределении почвенных агрегатов и элементарных почвенных частиц по размерам. Все экспериментальные исследования проведены на основе общепринятых методик и ГОСТ. Расчетные величины давления получены при помощи модифицированной PSF-М модели. Для сопоставления экспериментальных и модельных кривых применена непараметрическая статистика – критерий Манна-Уитни. Вычисленные значения критерия варьировали от 7 до 11 в зависимости от доверительной вероятности (0,95–0,99), что значительно меньше критических значений критерия, равных в среднем 18–23. Фрактальная модель PSF-М с большой степенью сходимости описывает экспериментальные кривые ОГХ, статистика Манна-Уитни не показывает статистическую значимость их различий. Применение фрактальной модели PSF для моделирования гидрофизических свойств почв имеет широкие перспективы.

Ключевые слова: гидрофизические свойства, фракталы, давление почвенной влаги, вододерживающая способность почвы.

Для цитирования: Моисеев К. Г., Терлеев В. В. Применение фрактального моделирования в гидрофизике почв // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 125–136. EDN: TZKVCE.

For citation: Moiseev K. G., Terleev V. V. Application of fractal simulation in soil hydrophysics // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 125–136. EDN: TZKVCE.

Введение

Перенос воды в ненасыщенной влагой почве описывает уравнение, которое сформулировано Л. А. Ричардсом еще в 1931 г. [1]. Это дифференциальное уравнение не имеет аналитического решения по причине того, что два коэффициента этого

уравнения являются неизвестными функциями искомой переменной (давления влаги). Первый коэффициент носит название функции влагопроводности почвы. Второй коэффициент носит название функции дифференциальной влагоемкости почв. Основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) по определению является первообразной (антидериwативом) по отношению к функции дифференциальной влагоемкости, поэтому для ОГХ применимо название «функции интегральной влагоемкости почвы». Непрерывные аппроксимации функций дифференциальной и интегральной влагоемкости (водоудерживающей способности), а также функции влагопроводности почвы могут быть определены на основе метода подбора кривых с использованием опытных данных по инфильтрации через почвенную колонку.

Форма кривой ОГХ специфична для каждого почвенного образца и характеризует структуру порового пространства почвы. Для водоудерживающей способности почв характерен гистерезис, то есть несовпадение форм кривых водоудерживающей способности при сорбции и десорбции влаги почвой. Некоторые новые и оригинальные подходы к математическому моделированию функции водоудерживающей способности, разрешению проблемы гистерезиса и физическому обоснованию эмпирических коэффициентов моделей водоудерживающей способности почв получили развитие в самое последнее время [2–6].

Общеизвестно, что почва является неоднородной средой. В среднем (в зависимости от цели исследования) выделяют пять–шесть уровней неоднородности почв. Например, неоднородность четвертого уровня – это неоднородность почв на молекулярном уровне. Неоднородности первого уровня сейчас дискутируются [7]. Это неоднородность, либо внутри элементарного почвенного ареала обусловленная микрорельефом, либо неоднородность элементарного ареала агроландшафта, почвенные мозаики, границы которых определяет различие в растительном покрове. Далее следуют неоднородности различной мощности почвенных горизонтов, микрон зон увлажнения или засоления почв, неоднородности внесения удобрений.

Менее известно, что все уровни геометрической и физической неоднородности почв находят отражение в едином пространстве самоаффинных структур, то есть почвенных структур разного уровня в известной мере являющихся копиями друг друга. Такую структурную организацию пространства рассматривает и описывает фрактальная геометрия. Структура почв (как единое пространство) по сути мультифрактал, части которого подобны целому. Аналогично и физические процессы, протекающие в таком пространстве, автомодельны. Любой физический процесс в почве (изменение поля влажности, температуры, электропроводности, миграция веществ по профилю или в пространстве) может быть представлен графически или непосредственно регистрируется аппаратурой в виде сигналов. Сигнал представляет собой непрерывную периодическую функцию, изменяющуюся по гармоническому закону. Все природные процессы на разных уровнях структурной организации почв имеют периодический характер. Несущая частота сигнала часто промодулирована сигналом более низкого уровня, а этот последний в свою очередь промодулирован сигналом еще более низкого порядка (рисунок 1). Иными словами, физический процесс в почве происходит сразу на нескольких структурных уровнях. Такая ситуация приводит к необходимости применения многомасштабного подхода к исследованию почв.

Авторы полагают, что в основу многомасштабного подхода к изучению физических процессов в почве следует заложить методы исследования фракталов, равно применимые к исследованию фрактальных и квазифрактальных явлений. Поровое пространство почвы моделируют геометрическими моделями, основанными на представлениях аффинного подобия; в этих моделях широко используют

представления фрактальной геометрии и фрактальной размерности порового пространства почвы [5, 6, 8].

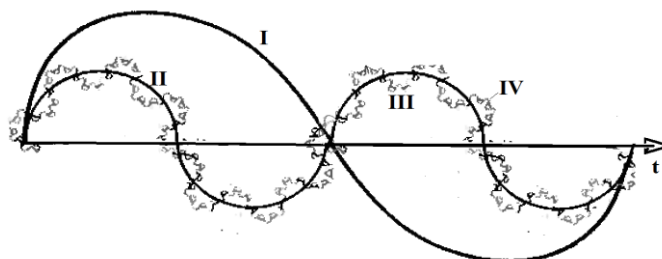


Рисунок 1 – Многомасштабная модуляция физических процессов в почве

Примечание. I, II, III, IV – гармоники физического процесса на разных структурных уровнях организации почвенного пространства.

В реальности в единице объема почв находим локальные области упорядоченной структуры, обладающие регулярностью и подобием, соседствующие с областями беспорядка, хаоса, обладающие самоафинностью. Модель структуры почвы – это мультифрактал с переменной фрактальной размерностью. Фрактальная размерность условно принимается постоянной для рассматриваемых в гидрофизике уровней текстурно-структурной неоднородности почвы. В пределах всего почвенного тела на уровне элементарных почвенных ареалов или микрорельефных неоднородностей поверхности почвы мы имеем возможность вводить понятие квазифрактала – геометрического объекта подобного фракталу, как бы фрактала.

Цель исследований – применение фрактальных моделей к вычислению водоудерживающей способности различных по гранулометрическому составу почв; апробация моделей и накопление фактического материала к пополнению баз почвенно-физических данных.

Материалы и методы исследований

В качестве объектов исследования выбраны разновидности почв землепользования Меньково (Гатчинский район Ленинградской области). Отобраны образцы по отдельным генетическим горизонтам следующих почв: агродерново-подзола на двучленных отложениях, водно-ледниковая супесь перекрывает морену (глубина смены пород 50 см), агродерново-подзола, агродерново-подзолистой типичной и агродерново-подзолистой глееватой почвы; Podzols, Albic Retisols и Stagnic Retisols (WRB; FAO, 2015). Средняя глубина взятия образцов по генетическим горизонтам почв 0–80 см.

Поскольку масса воды практически равна ее объему, постольку объемная и массовая фрактальные размерности структуры почвы при моделировании гидрофизических функций почв равны с некоторой степенью точности [6]. Для практического расчета фрактальных размерностей порового пространства почвы необходимо располагать данными распределения элементарных почвенных частиц по размерам, то есть провести гранулометрический и агрегатный анализы, определить плотность сложения и плотность твердой фазы почв, вычислить пористость.

Фрактальная размерность порового пространства почв в общем случае может быть рассчитана из соотношений [6, 8]:

$$\frac{M(< R_i)}{M_i} = \alpha^{D-E} \left(\frac{R_i}{L} \right)^{E-D}; R_{\min} \leq R_i \leq R_{\max} \quad (1)$$

где: $\alpha < 1$ итерационный фактор; L – индикатор размера ($\alpha R_{max} = L$); M_i – общая масса фрагментов; E – Евклидова размерность объема, равная 3; D – фрактальная размерность; R_{max} , R_{min} – максимальный и минимальный размеры агрегатов диапазона полученных фракций структурной организации почвы; R_i – размер агрегатов i -го уровня структурной организации почвы.

В случае полной фрагментации (развитой структуры) почвы выражение (1) преобразуется к известным выражениям:

$$\gamma = \rho \cdot \left(\frac{\bar{R}}{R_{max}} \right)^{3-D}; P = 1 - \left(\frac{\bar{R}}{R_{max}} \right)^{3-D} \quad (2)$$

Здесь γ – плотность (сложения) сухой почвы; ρ – удельный вес частиц (плотность твердой фазы) почвы; P – пористость почв; \bar{R} – средний размер агрегатов почвы.

Отсюда (после преобразования и логарифмирования):

$$D = 3 - \frac{\lg \gamma - \lg \rho}{\lg \bar{R} - \lg R_{max}} \quad (3)$$

Фрактальную размерность почвы как капиллярно-пористой среды в этом исследовании вычислили по приведенным выше уравнениям с использованием экспериментальных данных о распределении почвенных агрегатов и элементарных почвенных частиц по размерам. Плотность сложения и плотность твердой фазы почв определяли на основе общепринятых методик. Методики изложены в соответствующих руководствах [9] (и ГОСТ 12536-2014, ГОСТ 5180-84, ГОСТ 17.4.3.01, ГОСТ 28268-89). С другой стороны, используя для почвенного порового пространства модель «губка Менгера», с определенной степенью общности можно принять фрактальную размерность единицы объема почвы равной 2,72 [8, 11].

Для фрактального моделирования главной ветви десорбции функции водоудерживающей способности использовали получившую широкую известность модель – pore solid fractal model (PSF, или её модифицированную версию PSF-M). Фрактальная модель PSF-M устраняет разрыв между физическими процессами в почве и их эмпирическими моделями и обеспечивает некоторую физическую основу параметров моделей функции влагопроводности [5, 6, 10, 11].

Для моделирования главной ветви десорбции водоудерживающей способности в капиллярной области увлажнения почвы определяли ОГХ методом пресса по общеизвестной методике [9]. Для значений влажности полученных при экспериментальном определении ОГХ рассчитали значения давления влаги, используя вычислительную процедуру модели PSF:

$$\varphi = \frac{\varphi_0}{\left(\frac{\theta_0}{\theta} \right)^{\frac{1}{3-D}}} \quad (4)$$

Здесь φ – величины потенциала, или давления влаги и соответствующие ему величины объемной влажности почв θ (точки кривой водоудерживающей способности почв); φ_0 – измеренные экспериментально значения давления влаги, соответствующие некоторой объемной влажности θ_0 почвы, такой, что $\theta_0 < ПВ$ (полная влагоемкость почвы). Далее выразили вычисленные значения давления влаги в pF и построили зависимость $pF=f(\theta)$, которую сопоставили с экспериментально построенной зависимостью $pF=f(\theta)$. Значения φ_{min} вычисляют также по модели PSF при влагонасыщении почвы (ПВ) и часто выражают в значениях напора, так как эта величина может принимать положительные значения. Определены значения φ_{min} для ПВ во взятых к исследованию почвах.

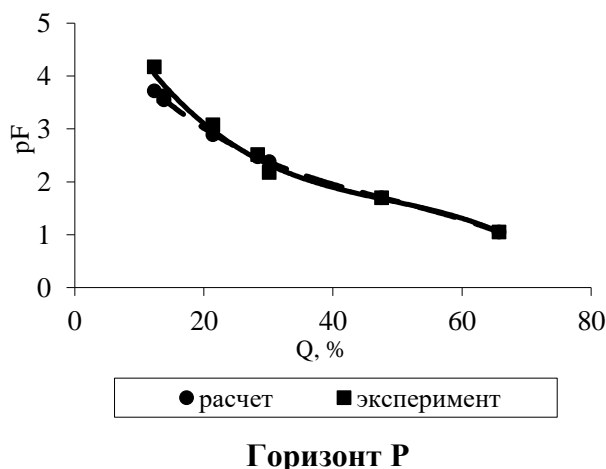
Результаты и их обсуждение

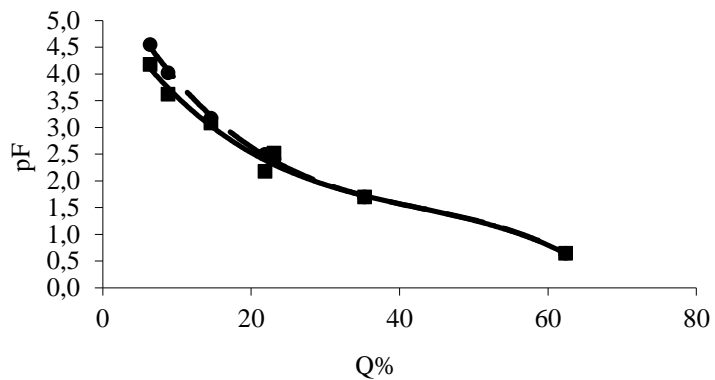
При реализации вычислительной процедуры давления влаги по модели PSF для функции водоудерживающей способности за нулевые значения приняты: значение давления (φ_0), равное 50 см вод. ст. ($pF=1,70$), и соответствующее φ_0 значение объемной влажности почвы (θ_0). Фрактальная размерность D , (степень $1/(3-D)$), общая пористость, объемная влажность, а также вычисленные значения давления влаги в условиях полного влагонасыщения почвы представлены в таблице 1. Плотность твердой фазы почв $2,65 \pm 0,04 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$; содержание агрегатов для гумусовых горизонтов в среднем $0,726 \text{ см}^3\cdot\text{см}^{-3}$; поправочный коэффициент на фрагментацию почвы при вычислении D равен 0,315.

Таблица 1 – Параметры почв, используемые для расчета давления почвенной влаги по модели PSF-M

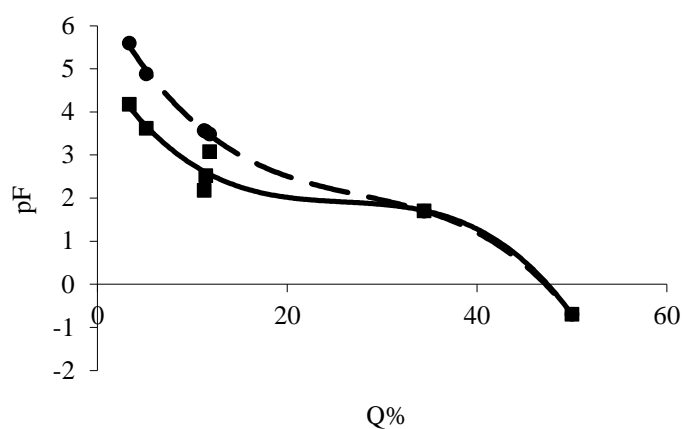
Отдел почв	Название типа почвы	Горизонт, мощность горизонта (см)	Объемная влажность почвы в точке φ_0 ($pF=1,70$) θ_0 , %	Общая пористость, %	D	$n=1/(3-D)$	φ_{min} см вод. ст.
Альфегумусные почвы	агродерново-подзол на двучленных отложениях	P (0-24)	47,5	46,3	2,71	3,44	11,3
		E (24-49)	35,3	38,0	2,74	3,85	4,0
		BHF (49-84)	34,4	36,9	2,74	3,87	0,2
	агродерново-подзол	P (0-32)	51,3	48,0	2,69	3,28	10,6
		E (32-53)	35,3	41,1	2,73	3,76	3,8
		BHF(53-107)	36,3	36,5	2,74	3,87	0,1
Текстурно-дифференцированные почвы	агродерново-подзолистая глееватая почва	P (0-36)	52,3	46,3	2,71	3,44	18,4
		BEL _g (36-57)	39,3	37,4	2,74	3,86	5,6
		BT _g (57-80)	39,6	41,5	2,73	3,74	5,6
	агродерново-подзолистая почва	P (0-28)	47,1	43,7	2,72	3,63	10
		BEL (28-55)	34,2	34,9	2,74	3,89	1,9
		BT (55-88)	31,0	28,7	2,74	3,82	5

Рассчитанные по модели PSF-M при заданной объемной влажности почвы и экспериментально измеренные ОГХ почв представлены на рисунках 2–5.



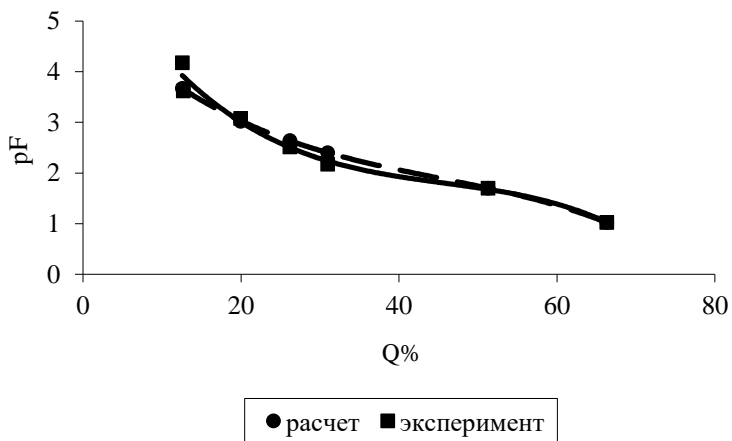


Горизонт Е

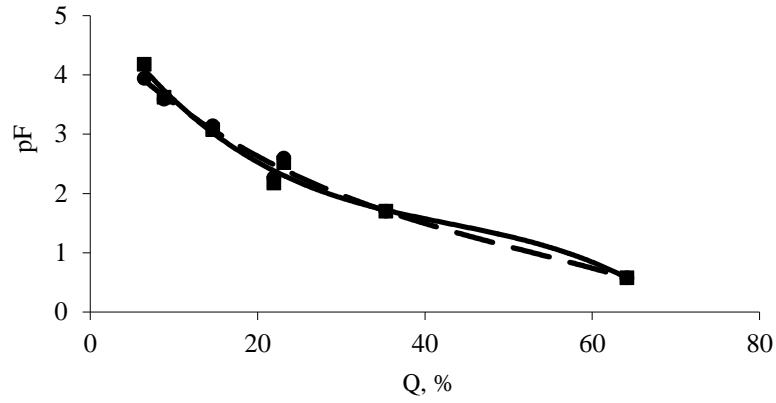


Горизонт ВНФ

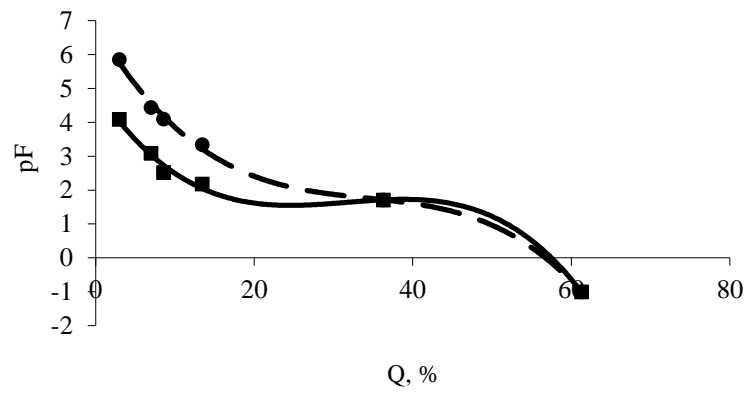
Рисунок 2 – Рассчитанные по модели PSF и экспериментально измеренные значения давления почвенной влаги для главной ветви иссушения водоудерживающей способности почвы: агродерново-подзол на двучленных отложениях (водно-ледниковые супеси/морена)



Горизонт Р

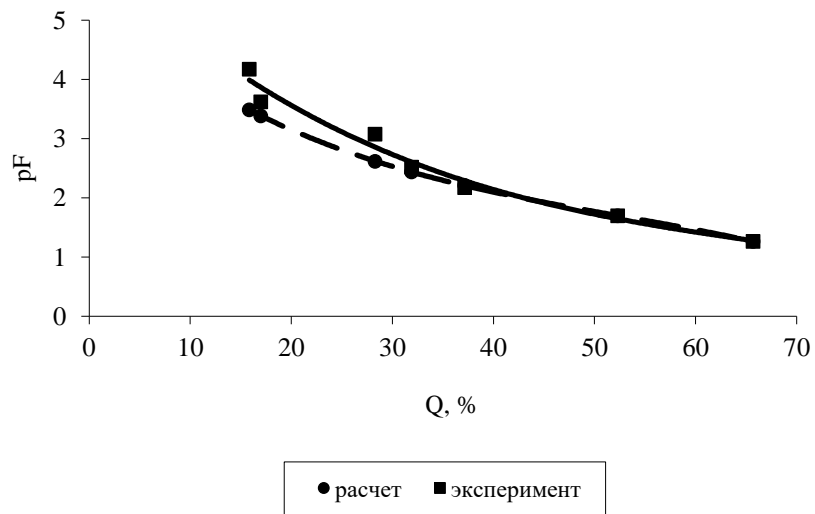


Горизонт Е

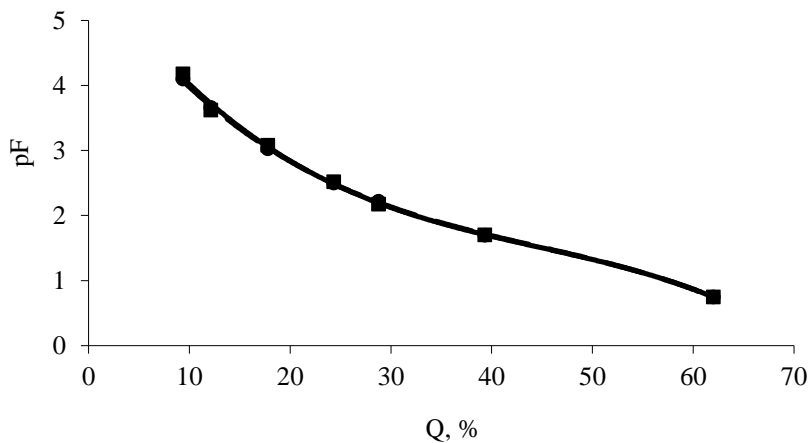


Горизонт ВНФ

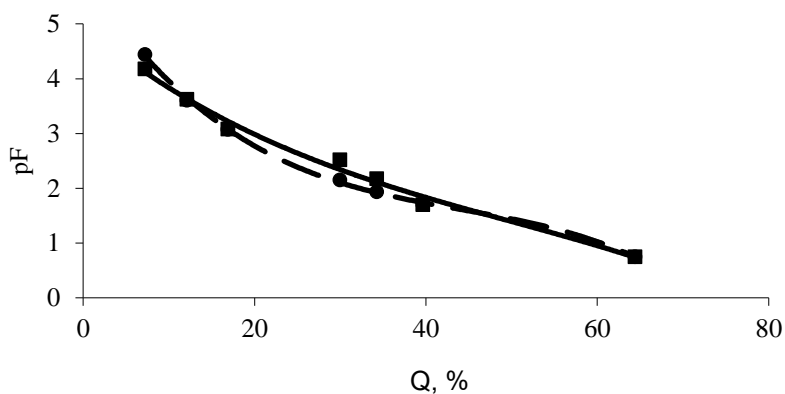
Рисунок 3 – Рассчитанные по модели PSF и экспериментально измеренные значения давления почвенной влаги для главной ветви иссушения водоудерживающей способности почвы: агродерново-подзол супесчаный



Горизонт Р

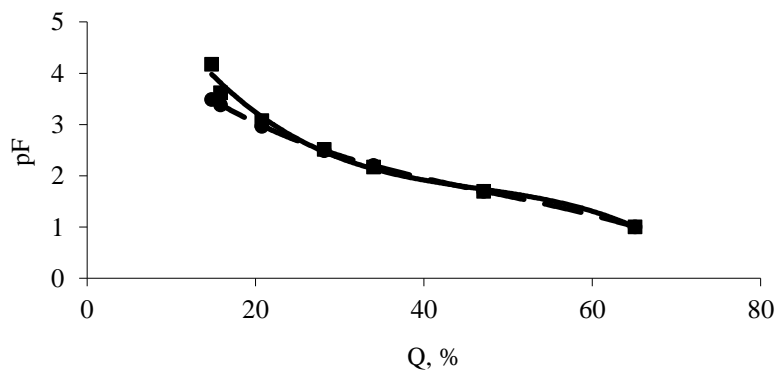


Горизонт BELg



Горизонт BTg

Рисунок 4 – Рассчитанные по модели PSF и экспериментально измеренные значения давления почвенной влаги для главной ветви иссушения водоудерживающей способности почвы: агродерново-подзолистая глееватая, супесчаная



● расчет ■ эксперимент

Горизонт P

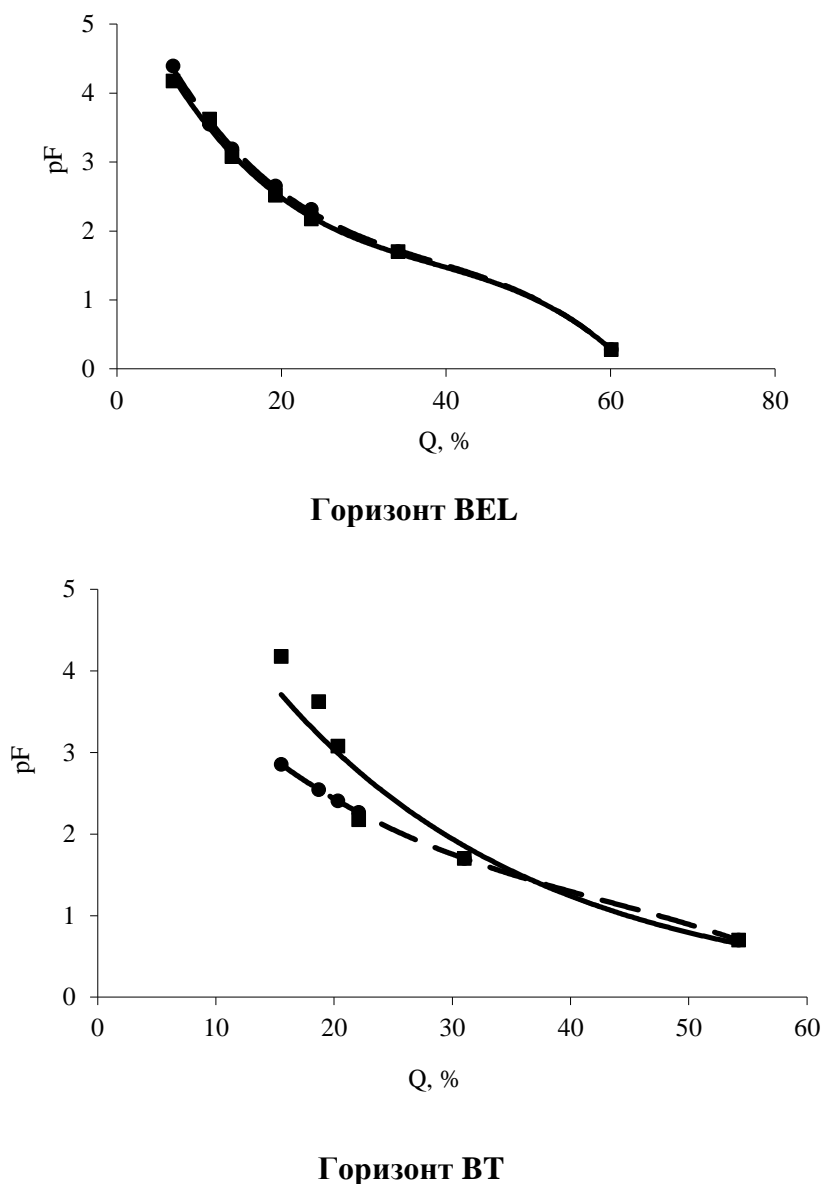


Рисунок 5 – Рассчитанные по модели PSF и экспериментально измеренные значения давления почвенной влаги для главной ветви иссушения водоудерживающей способности почвы: агродерново-подзолистая супесчаная

Как видно из рисунков, расчетные кривые проходят по точкам экспериментально измеренных ОГХ. Некоторая разница возникает в иллювиальных горизонтах почв. К сожалению, малые объемы выборок (5–7 точек) не позволяют уверенно применять общепринятые параметрические и непараметрические статистики для оценки ошибок моделирования и адекватности моделей. Поэтому применена непараметрическая статистика – критерий Манна-Уитни (U), применяемая для малых объемов выборки. Эмпирическое значение критерия U отражает, насколько велика зона совпадения между рядами данных. Поэтому чем меньше $U_{эмп}$, тем более вероятно, что различия достоверны.

Критические и эмпирические значения критерия представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения непараметрического критерия Манна-Уитни на уровне вероятности 0,95 при сопоставлении выборок экспериментальных и расчетных значений ОГХ

Почва	Агродерново-подзол на двучленных отложениях			Агродерново-подзол			Агродерново-подзолистая глееватая почва			Агродерново-подзолистая почва			
	Р	Е	ВНФ	Р	Е	ВНФ	Р	ВЕLg	ВТg	Р	ВЕL	ВТ	
Генетический горизонт почвы													
Критерий Манна-Уитни	U эмп.	23	23	18	24	24	11	22	24	22	22	22	16
	Укр.	11	11	11	11	11	7	11	11	11	11	11	7

Таблица 2 показывает, что различия между расчетными и измеренными значениями давления не достоверны. Иными словами, фрактальная модель порового пространства почвы – PSF уверенно позволяет рассчитывать значения давления влаги и имеет большие перспективы для дальнейшего применения. Существенным недостатком данного моделирования является крайняя трудоемкость и недостаточная точность определения фрактальной размерности порового пространства почв на основе изучения распределений агрегатов и элементарных почвенных частиц по размерам. Большие перспективы имеет способ непосредственного экспериментального определения D развиваемый в исследованиях [5, 11, 12].

Выводы

Расчеты фрактальной размерности почвенного порового пространства, выполненные по данным агрегатного анализа – сухого рассева, анализа физических параметров (плотности твердой фазы, объемной плотности сухой почвы (плотности сложения)) показали вариацию этой величины в небольших пределах $2,69 \div 2,74$, что практически совпадает с фрактальной размерностью идеальной модели почвенной структуры губки Менгера.

Так как экспериментальные кривые ОГХ построены по 8–9 парам значений потенциала почвенной влаги – объемная влажность почв возникла необходимость применения непараметрического, редко используемого критерия согласия Манна-Уитни (U), который тем не менее, является мощной статистикой. Анализируется инверсия двух выборок. Критические значения U для всех объектов исследования в целом равны 11, а эмпирические значения варьировали от 16–23, чем меньше значение $U_{эмп}$, тем более вероятно, что различия достоверны. По критерию U значимых различий между экспериментально построенными и расчетными кривыми ОГХ не обнаружено.

Апробирован алгоритм расчета давления почвенной влаги для ветвей десорбции водоудерживающей способности отдельных типов альфегумусных и текстурно-дифференцированных почв по модифицированной фрактальной модели PSF.

Литература

1. Richards L. A. Capillary conduction of liquids through porous mediums // *Physics*. 1931. No.1 (5). P. 318–333. DOI: 10.1063/1.1745010.
2. Ding Dy., Zhao Y., Feng H., Si B., Hill R. L. A user-friendly modified pore-solid fractal model // *Scientific Reports*. 2016. No. 6. Article No. 39029. DOI: 10.1038/srep39029.
3. Alfaro Soto M. A., Chang H. K., van Genuchten M. Th. Fractal-based models for the unsaturated soil hydraulic functions // *Geoderma*. 2017. No. 306. P. 144–151. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.07.019.
4. Terleev V., Mirschel W., Nikonorov A., Ginevsky R., Lazarev V., Topaj A., Moiseev K., Layshev K., Arkhipov M., Melnichuk A., Dunaieva I., Popovych V. Five models of hysteretic water-retention capacity and their comparison for sandy soil // *MATEC Web of Conferences*. International. Scientific Conference Environmental Science for Construction Industry – ESCI 2018. 2018. Vol. 193. Art. No. 02036. DOI: 10.1051/mateconf/201819302036.

5. Моисеев К. Г., Терлеев В. В., Холохоренко М. В. Применение модели фрактальной фракции (PSF) для физического моделирования водоудерживающей способности почвы // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 2 (14). С. 76–88.
6. Ghanbarian B., Hunt A. G., Skinner T. E., Ewing R. P. Saturation dependence of transport in porous media predicted by percolation and effective medium theories. 2018. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/276382932_Saturation_dependence_of_transport_in_porous_media_predicted_by_percolation_and_effective_medium_theories (дата обращения 05.06.2018).
7. Иванов Д. А., Карасева О. В., Рублюк М. В. Исследование влияния почвенного покрова и рельефа на продуктивность культур // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. С. 19–26. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10203.
8. Моисеев К. Г. Фракталы: анализ временных рядов в агрофизике // Сборник докладов заседаний Санкт-Петербургского отделения Общества почвоведов им. В. В. Докучаева «International Year of Soils». Санкт-Петербург: ООО «ВВМ». 2015. С. 3–13.
9. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 486 с.
10. Bird N., Perrier E., Rieu M. The water retention function for a model of soil structure with pore and solid fractal distributions // European Journal of Soil Science. 2000. No. 51. P. 55–63. DOI: 10.1046/j.1365-2389.2000.00278.x.
11. Моисеев К. Г., Терлеев В. В. Моделирование структуры капиллярно-пористой среды и вычисление дифференциальной пористости почвы // Агрофизика. 2017. № 3. С. 43–56.
12. Моисеев К. Г., Терлеев В. В. Метод экспериментального определения фрактальной размерности порового пространства почв // Сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию со дня основания ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии «Инновационно-технологические основы развития адаптивно ландшафтного земледелия». Курск: ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 2020. С. 283–288.

References

1. Richards L. A. Capillary conduction of liquids through porous mediums // Physics. 1931. No.1 (5). P. 318–333. DOI: 10.1063/1.1745010.
2. Ding Dy., Zhao Y., Feng H., Si B., Hill R. L. A user-friendly modified pore-solid fractal model // Scientific Reports. 2016. No. 6. Article No. 39029. DOI: 10.1038/srep39029.
3. Alfaro Soto M. A., Chang H. K., van Genuchten M. Th. Fractal-based models for the unsaturated soil hydraulic functions // Geoderma. 2017. No. 306. P. 144–151. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.07.019.
4. Terleev V., Mirschel W., Nikonorov A., Ginevsky R., Lazarev V., Topaj A., Moiseev K., Layshev K., Arkhipov M., Melnichuk A., Dunaieva I., Popovych V. Five models of hysteretic water-retention capacity and their comparison for sandy soil // MATEC Web of Conferences. International Scientific Conference Environmental Science for Construction Industry – ESCI 2018. 2018. Vol. 193. Art. No. 02036. DOI: 10.1051/mateconf/201819302036.
5. Moiseev K.G., Terleev V.V., Kholokhorenko M.V. Application of fractal fraction model (PSF) for physical modeling of water-retention capacity of soil // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2018. No. 2 (14). P. 76–88.
6. Ghanbarian B., Hunt A. G., Skinner T. E., Ewing R. P. Saturation dependence of transport in porous media predicted by percolation and effective medium theories. 2018. [Electronic resource]. Access point: https://www.researchgate.net/publication/276382932_Saturation_dependence_of_transport_in_porous_media_predicted_by_percolation_and_effective_medium_theories (reference's date 05.06.2018).
7. Ivanov D.A., Karaseva O.V., Rublyuk M.V. Study of the influence of soil cover and relief on crop productivity // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2021. Vol. 35. P. 19–26. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10203.
8. Moiseev K. G. Fractals: analysis of time series in agrophysics // Collection of reports of the meetings of St. Petersburg branch of V. V. Dokuchaev Society of Soil Scientists “International Year of Soils”. St. Petersburg: “BBM ООО” (Limited Liability Company). 2015. P. 3–13.
9. Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. Methods for studying the physical properties of soils. Moscow: Agropromizdat, 1986. 486 p.
10. Bird N., Perrier E., Rieu M. The water retention function for a model of soil structure with pore and solid fractal distributions // European Journal of Soil Science. 2000. No. 51. P. 55–63. DOI: 10.1046/j.1365-2389.2000.00278.x.
11. Moiseev K. G., Terleev V.V. Modeling of capillary-porous medium structure and calculation of differential soil porosity // Agrophysica. 2017. No. 3. P. 43–56.
12. Moiseev K.G., Terleev V.V. Method for experimental determination fractal dimensions of the soils porous space // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, devoted to the 50th anniversary of All-Russia Research Institute of Arable Farming and Soil Erosion Control “Innovative-Technological Principles of the Development of Adaptive Landscape Agriculture”. Kursk: Kursk Federal Agricultural Research Center, 2020. P. 283–288.

UDC 631.43.+621.981

Moiseev K. G., Terleev V. V.

APPLICATION OF FRACTAL SIMULATION IN SOIL HYDROPHYSICS

Summary. Soil water retention capacity (WRC) is the most important hydrophysical property of soils. The Richards equation is used to calculate soil moisture dynamics in unsaturated zone. This partial differential equation of parabolic type does not have an analytical solution, since the coefficients of this equation, which describe the hydrophysical properties of the soil, are variable. Therefore, the construction of models that describe these soil properties remains relevant at the present time. The aim of this study was to apply the fractal model (Pore – Solid – Fractal (PSF)) to the calculation of the soil moisture matrix potential. Soils of Menkovo land use (Leningrad region) were chosen as objects of the study. Samples of agro-soddy-podzols, agro-soddy-podzolic typical and agro-soddy-podzolic gleyic soils were taken (Podzols, Albic Retisols & Stagnic Retisols (WRB; FAO, 2015)). The experimental values of WRC were measured on the Richards press apparatus. The fractal dimension D of the capillary-porous medium – soil was calculated using experimental data on the total porosity of soils and the size distribution of soil aggregates and elementary soil particles. All experimental studies were carried out on the basis of standard methods and state standards. The calculated pressure values were obtained using a modified PSF-M model. To compare the experimental and model retention curves, non-parametric statistics, namely Mann-Whitney U test, was used. The calculated values of the criterion ranged from 7 to 11, depending on the confidence level (0.95–0.99), which is significantly less than the critical values of the criterion, which are equal to an average of 18–23. The PSF-M fractal model describes the experimental curves with a high degree of convergence. Mann-Whitney statistics do not show the statistical significance of their differences. The use of the PSF fractal model for modeling the hydrophysical properties of soils has broad perspectives.

Keywords: hydrophysical properties, fractals, soil moisture pressure, water retention capacity.

Моисеев Кирилл Геннадьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела Биофизики почв Агрофизического научно-исследовательского института. Врио заведующего лабораторией Физики и физической химии почв, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: kir_moiseev@mail.ru.

Терлеев Виталий Викторович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, профессор Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства Инженерно-строительного института ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29; e-mail: Vitaly_Terlev@mail.ru.

Moiseev Kirill Gennadievich, Cand. Sc. (Agr.) leading researcher, Department of soil biophysics; temporary acting head of the Laboratory of physics and physical chemistry of soils, Federal State Budgetary Scientific Institution “Agrophysical Research Institute” (FSBSI ARI); 14, Grazhdanskiy pr., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: kir_moiseev@mail.ru .

Terleev Vitaly Viktorovich, Dr. Sc. (Agr.), senior researcher, Professor of the Higher School of Hydrotechnical and Energy Construction of the Engineering and Construction Institute, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University” (SPbPU); 29, Politekhnicheskaya str., Saint-Petersburg, 195251, Russia; email: Vitaly_Terlev@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 11.05.2022.

Дата принятия к печати – 19.07.2022.

УДК 638.132
EDN UCTVYC

Мурзабулатова Ф. К., Полякова Н. В., Шигапов З. Х.
**ДРЕВЕСНЫЕ МЕДОНОСЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ УЧАСТКА ДЛИТЕЛЬНОГО
ЦВЕТЕНИЯ В УСЛОВИЯХ БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ**

Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение ФГБНУ
Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук

Реферат. Создание участка древесных насаждений с различными сроками цветения и включающего как медоносные виды местной флоры, так и виды-интродуценты, акклиматизированные к условиям конкретного региона, может продлить общий период сбора нектара и пыльцы. Поэтому целью данной работы стало выделение группы древесных медоносов, интродуцированных в Южно-Уральском ботаническом саду-институте Уфимского федерального исследовательского центра РАН, для возможности создания участка длительного цветения в целях улучшения производительности пчеловодческих хозяйств. На протяжении 13 лет (2009–2021 гг.) проводили изучение сезонного ритма развития и зимостойкости 33 таксонов медоносных древесных интродуцентов на базе коллекции Фрутицетум ЮУБСИ по общепринятым методикам. Все изученные таксоны, среди которых как виды, так и некоторые особо устойчивые и неприхотливые сорта, характеризуются высокой зимостойкостью и различной продолжительностью цветения. Установлено, что по срокам цветения их можно разделить на четыре группы: весенние (цветение в пределах мая), весенне-летние (конец мая – июнь), летние (начало июня – середина августа) и летне-осенние (начало июня – конец октября). Наиболее многочисленными по количеству таксонов являются группы весенне-летних и летних медоносов – в совокупности они насчитывают 23 таксона, включая основной медонос Башкортостана – липу. Медоносы из группы весенних и частично летних имеют минимальный период цветения – восемь–девять дней. Максимальная продолжительность цветения отмечается у *Pentaphylloides fruticosa* из группы летне-осенних, она составляет $118,8 \pm 5,0$ дней. Первым из медоносов на участке Фрутицетум зацветает *Abeliophyllum distichum* – $1.05 \pm 3,80$; позднее всех цветет *Symphoricarpos albus* – $24.10 \pm 3,5$. Общая продолжительность цветения медоносов на участке длительного цветения с участием интродуцированных таксонов может составлять 177 дней (с 1 мая по 24 октября в среднем) в зависимости от погодных условий конкретного года.

Ключевые слова: интродукция, медоносы, нектар, пыльца, продолжительность цветения, медопродуктивность, Республика Башкортостан.

Для цитирования: Мурзабулатова Ф. К., Полякова Н. В., Шигапов З. Х. Древесные медоносы для создания участка длительного цветения в условиях Башкирского Предуралья // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 137–147. EDN: UCTVYC.

For citation: Murzabulatova F. K., Polyakova N. V., Shigapov Z. Kh. Woody honey plants for creating a long-term flowering plot under conditions of Bashkir Cis-Urals // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 137–147. EDN: UCTVYC.

Введение

Пчеловодство в Башкирии является одной из наиболее развитых отраслей хозяйства, чему способствуют благоприятные климатические и географические условия, а также древние традиции башкирского народа [1]. По результатам

исследований, в Республике Башкортостан сосредоточены расчетные максимальные потенциальные запасы меда – 776 тыс. т (для сравнения: в Республике Саха – 539 тыс. т, Красноярском крае – 448 тыс. т, Хабаровском крае – 276 тыс. т, Приморском крае – 261 тыс. т, Республике Татарстан – 196 тыс. т, Пермском крае – 172 тыс. т [2]. Башкирская бортевая пчела и башкирский мед стали брендом Республики Башкортостан и известны далеко за пределами Российской Федерации. Количество пчеловодческих хозяйств ежегодно растет, особенно в лесостепной и горно-лесной зонах Башкортостана, где большую часть лесообразующих пород составляет липа [3, 4]. Продолжительность цветения липы, и, следовательно, периода для сбора нектара, невелико и составляет около двух недель [5, 6]. Кроме липы, имеется целый ряд других медоносных растений, способных давать достаточное количество нектара и пыльцы для получения меда. Цветение таких видов происходит в различные сроки и поэтому они могут существенно продлить общий период цветения медоносов и стать хорошим дополнением к сбору нектара с липы. Создание участка древесных насаждений с различными сроками цветения и включающего как медоносные виды местной флоры, так и виды-интродуценты, акклиматизированные к условиям конкретного региона, может продлить общий период сбора нектара и значительно повысить производительность пчеловодческих хозяйств. Данный аспект пчеловодства в настоящее время почти не изучен и не освещен в литературе. В последние десятилетия активно изучали медопродуктивность и нектароносность дикорастущих видов [7], определяли источники нектара в составе региональных флор [8–10], проводили инвентаризацию ресурсов медоносов [11]. Накоплены данные по изучению кормовой базы лесного пчеловодства [12, 13]. Литературных данных по возможности использования интродуцированных медоносов в пчеловодческой отрасли конкретного региона на данный момент нет.

В Южно-Уральском ботаническом саду-институте Уфимского федерального исследовательского центра РАН (ЮУБСИ) в настоящее время имеется большая коллекция древесных растений, в том числе и медоносных, за которыми на протяжении ряда лет проводят фенологические и другие наблюдения, а также осуществляют изучение их биологических особенностей в условиях климата Башкирского Предуралья [14, 15]. Поэтому составление ассортимента наиболее устойчивых в условиях Республики Башкортостан древесных медоносных видов-интродуцентов в настоящее время является актуальным и своевременным.

Цель исследований – выделить группу древесных медоносов, интродуцированных в ЮУБСИ, для возможности создания участка длительного цветения в целях улучшения производительности пчеловодческих хозяйств.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: определить среднюю продолжительность цветения каждого таксона, выделить группы медоносов в зависимости от сроков цветения и изучить зимостойкость интродуцированных древесных медоносов, перспективных для выращивания в Башкирском Предуралье.

Материалы и методы исследований

Период наблюдений составил 13 лет (2009–2021 гг.). Объектами исследования стали 33 таксона древесных растений-медоносов, культивируемых на участке Фрутицетум ЮУБСИ и включающих в себя 25 видов, шесть сортов и две формы (таблица 1).

Среди изученных таксонов имеются эндемичные (абелиофиллум двурядный) и включенные в Красные книги различного ранга (миндаль низкий, дейция гладкая, маакия амурская, яблоня Недзвецкого, лапина крылоплодная, курильский чай кустарниковый).

Таблица 1 – Происхождение и дата начала интродукции изученных медоносных видов

Таксон	Ареал распространения	Получение	
		Место	Год
1	2	3	4
<i>Abeliophyllum distichum</i> Nakai Абелиофиллум двурядный	Восточная Азия	Голландия	2001
<i>Amygdalus nana</i> L. Миндаль низкий	Юго-Восточная Европа, Сибирь, Малая Азия	Зианчуринский район, гора Шайтан- тау	2011
<i>Amorpha fruticosa</i> L. Аморфа кустарниковая	Северная Америка	Казахстан, Ботанический сад, г. Лениногорск	1982
<i>Caragana arborescens</i> Lam. Карагана древовидная	Западная Сибирь, Алтай	Главный ботанический сад (ГБС), г. Москва	1986
<i>Deutzia parviflora</i> var. <i>amurensis</i> Regel Дейция мелкоцветковая амурская	Дальний Восток, Восточная Азия	Лесостепная опытная станция, Липецкая обл.	1986
<i>Deutzia glabrata</i> Kom. Дейция гладкая	Дальний Восток, Восточная Азия	ГБС, г. Москва	2006
<i>Maackia amurensis</i> Maxim et Rupr. Маакия амурская	Дальний Восток, Восточная Азия	Происхождение неизвестно	2011
<i>Maackia amurensis</i> var. <i>buergeri</i> (Maxim) C.K. Schneid. Маакия амурская Бургера	Дальний Восток, Восточная Азия	Голландия	2001
<i>Malus niedzwetzkyana</i> Dieck ex Koehne Яблоня Недзвецкого	Средняя Азия	Украина, сельскохозяйственная академия, г. Киев	1992
<i>Padus avium</i> Mill. 'Colorata' Черемуха обыкновенная 'Colorata'	-	Голландия	2001
<i>Ptelea trifoliata</i> L. Птелея трехлистная	Северная Америка	ГБС, г. Москва	1985
<i>Philadelphus nepalensis</i> Koehne Чубушник непальский	Гималаи	ГБС, г. Москва	1987
<i>Philadelphus pekinensis</i> Rupr. Чубушник пекинский	Восточная Азия	ГБС, г. Москва	1987
<i>Pterocarya pterocarpa</i> Kunth ex J. Ljinsk Лапина крылоплодная	Азия, Кавказ	Ботанический сад Балтийского Федерального Университета имени И. Канта, г. Калининград	2008
<i>Pentaphylloides fruticosa</i> (L.) O. Schwarz. Курильский чай кустарниковый	Евразия, Северная Америка	Польша	2003
<i>Pentaphylloides fruticosa</i> (L.) O. Schwarz. 'Gold Finger' Курильский чай кустарниковый 'Gold Finger'	-	Голландия	2001
<i>Robinia pseudoacacia</i> L. Акация белая	Северная Америка	Происхождение неизвестно	1978
<i>Sambucus nigra</i> L. Бузина черная	Крым, Кавказ	Дендрарий, г. Бирск	2006
<i>Sorbaria sorbifolia</i> (L.) A. Br. Рябинник рябинолистный	Дальний Восток, Сибирь, Южный Урал, Средняя Азия	Местная репродукция	2008

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
<i>Sorbaria pallasii</i> (G. Don) Pojark. Рябинник Палласа	Дальний Восток, Забайкалье	Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск	2015
<i>Sorbaria kirilowii</i> (Regel & Tiling) Maxim Рябинник Кириллова	Гималаи, Западная Европа, Северная Америка	Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск	2015
<i>Symphoricarpos albus</i> Blake Пузыреплодник белый	Северная Америка	БС НПО «Нива» г. Ставрополь	2001
<i>Spiraea</i> × <i>billardi</i> Hering Спирея Билларда	-	Польша	2001
<i>Spiraea</i> × <i>cinerea</i> Zabel 'Grefsheim' Спирея пепельная 'Grefsheim'	-	Польша	2001
<i>Securinega suffruticosa</i> (Pall.) Rehd. Секуринега кустарниковая	Дальний Восток, Восточная Азия, Сибирь	Происхождение неизвестно	2000
<i>Swida alba</i> (L.) Opiz 'Elegantissima' Свидина белая 'Elegantissima'	-	Голландия	2001
<i>Swida sericea</i> (L.) Holub 'Flaviramea' Свидина отпрысковая 'Flaviramea'	-	Польша	2003
<i>Tilia taquetii</i> Schneid. Липа Таке	Дальний Восток	Приморский край, п. Чугуевка	1990
<i>Tilia platyphyllus</i> Scop. Липа крупнолистная	Европа, Европейская часть РФ	ГБС, г. Москва	1987
<i>Tilia platyphyllus</i> Scop. 'Aurea' Липа крупнолистная 'Aurea'	-	ГБС, г. Москва	1987
<i>Viburnum opulus</i> L. Калина обыкновенная	Зап. Сибирь, Малая Азия, Европа	ГБС, г. Москва	1986
<i>Weigela praecox</i> (L.) Bailey Вейгела ранняя	Дальний Восток, Восточная Азия	Ботанический сад- институт ДВО РАН, г. Владивосток	1993
<i>Weigela middendorffiana</i> (Carr.) C. Koch Вейгела Миддендорфа	Дальний Восток, Восточная Азия	БСИ ДВО РАН г. Владивосток	1993

Включение в культуру сортов и форм вместе с видами продиктовано высокой степенью их зимостойкости и неприхотливостью в условиях культуры. Фенологические исследования проводили по общепринятой методике [16]. Зимостойкость данных таксонов изучали по методике, разработанной в Главном ботаническом саду РАН [17]: зимостойкость оценивали по семибалльной шкале, где I балл – растения абсолютно зимостойки, а VII баллов – растения вымерзают полностью. Определение средних многолетних дат цветения и его продолжительности проводили по методике Зайцева [18]. Статистическую обработку полученных данных осуществляли с применением программ Excel и Statistica 10.

Климат Республики Башкортостан, в пределах которого находится Южно-Уральский ботанический сад, континентальный, с длительным зимним периодом и жарким летом. Наблюдаются частые поздние весенние и ранние осенние заморозки. Средняя температура января от $-12,4$ °C до $-14,5$ °C, минимум зафиксирован на отметке $-48,5$ °C. Высота снежного покрова в среднем достигает 80 см. В июле средняя температура составляет $+19,5$ °C, абсолютная максимальная температура зафиксирована на уровне $+37,5$ °C. Длительность безморозного периода в среднем 144 дня. Среднегодовое количество осадков – до 590 мм, максимум приходится на

июнь-июль [19]. На территории ботанического сада распространены серые лесные почвы, которые образуются на элювиально-делювиальных карбонатных отложениях и характеризуются глинистым и тяжелосуглинистым механическим составом и малым содержанием гумуса. Они в той или иной степени оподзолены, но процесс подзолообразования в них протекает слабее, чем в подзолистых почвах, вследствие малой водопроницаемости материнских пород [20].

Результаты и их обсуждение

В результате многолетних фенологических наблюдений все изученные таксоны были разделены на четыре группы по срокам цветения: весенние, весенне-летние, летние и летне-осенние (таблица 2).

Таблица 2 – Группы древесных медоносов-интродуцентов по срокам цветения

Таксон	Цветение		Продолжительность цветения, дни	Зимостойкость, балл
	Начало	Конец		
весенние				
<i>Abeliophyllum distichum</i>	1.05 ± 3,8	10.05 ± 3,7	8,6 ± 0,5	I
<i>Amygdalus nana</i>	11.05 ± 3,6	21.05 ± 3,5	10,1 ± 1,2	I
<i>Malus niedzwetzkyana</i>	16.05 ± 1,7	27.05 ± 1,6	10,8 ± 0,4	I
<i>Caragana arborescens</i>	19.05 ± 3,7	29.05 ± 3,5	10,7 ± 0,9	I
<i>Padus avium</i> 'Colorata'	8.05 ± 2,0	17.05 ± 1,8	9,6 ± 0,7	I
<i>Spiraea × cinerea</i> 'Grefsheim'	11.05 ± 1,7	26.05 ± 1,8	14,7 ± 1,7	I
весенне-летние				
<i>Deutzia parviflora</i> var. <i>amurensis</i>	24.05 ± 1,6	13.06 ± 2,3	20,6 ± 2,7	I
<i>Deutzia glabrata</i>	21.05 ± 2,4	8.06 ± 2,2	17,7 ± 2,5	I
<i>Pterocarya pterocarpa</i>	27.05 ± 1,4	8.06 ± 1,0	12,0 ± 2,3	I
<i>Robinia pseudoacacia</i>	21.05 ± 0,9	15.06 ± 1,0	17,4 ± 0,9	I - II
<i>Swida alba</i> 'Elegantissima'	27.05 ± 3,2	25.06 ± 7,9	30,0 ± 7,2	I
<i>Swida sericea</i> 'Flaviramea'	25.05 ± 2,6	23.06 ± 5,5	29,1 ± 5,9	I
<i>Viburnum opulus</i>	25.05 ± 3,2	6.06 ± 3,3	11,6 ± 0,8	I
<i>Weigela praecox</i>	18.05 ± 2,1	9.06 ± 3,3	22,5 ± 1,9	I
<i>Weigela middendorffiana</i>	19.05 ± 1,8	8.06 ± 2,3	21,0 ± 1,5	I
летние				
<i>Amorpha fruticosa</i>	5.06 ± 2,6	13.06 ± 2,8	8,2 ± 0,49	II
<i>Ptelea trifoliata</i>	7.06 ± 3,0	18.06 ± 2,7	10,6 ± 1,4	I
<i>Philadelphus nepalensis</i>	14.06 ± 2,1	27.06 ± 1,7	13,7 ± 1,4	I
<i>Philadelphus pekinensis</i>	17.06 ± 2,1	29.06 ± 1,6	11,6 ± 1,2	I
<i>Sambucus nigra</i>	7.06 ± 3,5	8.07 ± 7,1	31,1 ± 6,2	I - II
<i>Sorbaria sorbifolia</i>	14.06 ± 3,3	26.07 ± 5,0	41,7 ± 4,1	I
<i>Sorbaria pallasii</i>	1.07 ± 3,9	18.08 ± 13,9	53,6 ± 8,16	I
<i>Sorbaria kirilowii</i>	27.06 ± 2,8	16.08 ± 9,0	49,6 ± 7,5	I
<i>Securinega suffruticosa</i>	14.06 ± 2,3	16.08 ± 3,2	62,5 ± 4,4	I - II
<i>Tilia taquetii</i>	10.06 ± 2,8	18.06 ± 2,4	8,4 ± 2,4	I
<i>Tilia platyphyllus</i>	18.06 ± 2,5	28.06 ± 2,1	9,7 ± 0,7	I
<i>Tilia platyphyllus</i> 'Aurea'	18.06 ± 3,2	28.06 ± 2,8	9,4 ± 0,7	I
<i>Maackia amurensis</i>	11.07 ± 3,9	23.07 ± 3,3	11,5 ± 1,5	I
<i>Maackia amurensis</i> var. <i>buengeri</i>	18.07 ± 2,7	1.08 ± 1,8	14,2 ± 1,2	I
летне-осенние				
<i>Spiraea × billardi</i>	25.06 ± 2,6	10.09 ± 6,4	77,4 ± 6,8	I
<i>Pentaphylloides fruticosa</i>	1.06 ± 2,5	28.09 ± 5,4	118,8 ± 5,0	I
<i>Pentaphylloides fruticosa</i> 'Gold Finger'	10.06 ± 3,3	4.10 ± 3,7	116,7 ± 5,0	I
<i>Symphoricarpos albus</i>	2.06 ± 2,1	24.10 ± 3,5	38,4 ± 3,7	I

Весенние виды зацветают с 1 по 19 мая и весь их период цветения происходит в пределах этого месяца. Весенне-летние древесные медоносы начинают цвести в конце мая и заканчивают цветение в июне. Наиболее многочисленная группа летних медоносов включает в себя 14 таксонов, в том числе и основной медонос для Республики Башкортостан – липу; цветут летние медоносы с начала июня до середины августа. Летне-осенние медоносы включают всего четыре таксона, но цветут все лето, начиная с 1 июня по третью декаду октября. Что касается продолжительности цветения, то минимальные сроки преобладают в группе весенних медоносов; самый короткий период цветения в этой группе имеет абелиофиллум двурядный – $8,6 \pm 0,5$ дней. Часть летних медоносов также имеет короткий период цветения, как, например, аморфа кустарниковая и липа Таке. Большинство весенне-летних и летних медоносов имеют среднюю продолжительность цветения (около 28 дней). Максимальная продолжительность цветения отмечена у летне-осенних таксонов, она составляет от 38 до 119 дней в среднем. Дольше всех в этой группе цветет курильский чай кустарниковый ($118,8 \pm 5,0$ дней).

Зимостойкость – один из важнейших критериев успешности интродукции вида в новых условиях произрастания. Так как изучаемые таксоны имеют ареал распространения в других регионах и континентах (см. таблицу 1), то наблюдения за результатами перезимовки позволяют судить о перспективности этих таксонов для культивирования в конкретном регионе. Многолетние данные изучения зимостойкости показали, что в основном все они имеют высший балл I, означающий, что растения абсолютно зимостойки. И только у четырех таксонов (акация белая, аморфа кустарниковая, бузина черная и секуринега кустарниковая) в отдельные годы зимостойкость может снижаться до II баллов, у них обмерзают однолетние побеги.

Для более наглядного представления о периоде цветения медоносов на участке Фрутицетум нами был составлен феноспектр цветения (таблица 3). Феноспектр позволяет визуально определить, какие виды и сорта медоносов дополняют друг друга и продлевают период цветения. Кроме того, мы показали характер медосбора для каждого таксона.

Все медоносы во время цветения выступают нектароносами или пыльценосами, но чаще могут нести одновременно обе функции [21]. Нектар служит сырьем для производства меда, а пыльцу пчелы собирают для собственного питания и строительства сот. При создании участка длительного цветения таксоны из летне-осенней группы могут не только продлить сроки сбора нектара, но и обеспечить кормовую базу для пчелиных семей до конца октября. По литературным данным, максимальное количество нектара и пыльцы пчелы собирают в летний период, в это же время в ульях происходит выработка меда. Осенний взятки пчелы используют, в основном, для собственного питания и подготовки к зимовке [22]. Сбор нектара и пыльцы происходит до тех пор, пока цветут медоносы, даже при появлении первых заморозков (в Башкирии – сентябрь-октябрь), работа пчел не прекращается, уменьшается только количество вылетов и происходят они в дневное время, когда воздух прогревается до оптимальной температуры. Кроме того, метеоусловия каждого года различны, на территории Башкортостана нередки явления теплой затяжной осени, когда в октябре еще не бывает стойкого перехода температуры ниже нуля. Цветение поздних медоносов соответствует погодным условиям, а, следовательно, и жизнедеятельность пчел зависит от этих факторов.

Таким образом, в условиях ЮУБСИ РАН первые весенние древесные медоносы на участке Фрутицетум начинают цвести в среднем 1 мая. Поздноцветущие таксоны заканчивают цветение в октябре. Учитывая тот факт, что основные медоносы (различные виды и сорта лип) цветут около 8–10 дней, можно значительно продлить период цветения и сбора нектара и пыльцы, высадив в комплексе как основные медоносы, так и другие медоносные интродуценты с различными сроками цветения.

Таблица 3 – Феноспектр цветения древесных медоносов на участке Фрутицетум ЮУБСИ

Таксон	Характер медосбора	май			июнь			июль			август			сентябрь			октябрь		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
<i>Abeliophyllum distichum</i>	Н*-П*	■																	
<i>Padus avium</i> 'Colorata'	Н-П	■																	
<i>Amygdalus nana</i>	Н		■																
<i>Spiraea × cinerea</i> 'Grefsheim'	Н-П		■																
<i>Malus niedzwetzkyana</i>	Н-П			■															
<i>Caragana arborescens</i>	Н-П				■														
<i>Weigela praecox</i>	Н-П				■														
<i>Weigela middendorffiana</i>	Н-П				■														
<i>Deutzia parviflora</i> var. <i>amurensis</i>	Н-П				■														
<i>Deutzia glabrata</i>	Н-П				■														
<i>Pterocarya pterocarpa</i>	П				■														
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Н-П				■														
<i>Swida alba</i> 'Elegantissima'	Н-П				■														
<i>Swida sericea</i> 'Flaviramea'	Н-П				■														
<i>Viburnum opulus</i>	Н-П				■														
<i>Amorpha fruticosa</i>	Н-П				■														
<i>Ptelea trifoliata</i>	Н-П				■														
<i>Sambucus nigra</i>	П				■														
<i>Tilia taquetii</i>	Н				■														
<i>Philadelphus nepalensis</i>	Н-П				■														
<i>Philadelphus pekinensis</i>	Н-П				■														
<i>Tilia platyphyllus</i>	Н				■														
<i>Tilia platyphyllus</i> 'Aurea'	Н				■														
<i>Sorbaria sorbifolia</i>	Н-П				■														
<i>Securinega suffruticosa</i>	Н				■														
<i>Sorbaria kirilowii</i>	Н-П				■														
<i>Sorbaria pallasii</i>	Н-П				■														
<i>Maackia amurensis</i>	Н				■														
<i>Maackia amurensis</i> var. <i>buergeri</i>	Н				■														
<i>Pentaphylloides fruticosa</i>	Н-П				■														
<i>Spiraea × billardi</i>	Н				■														
<i>Pentaphylloides fruticosa</i> 'Gold Finger'	Н-П				■														
<i>Symphoricarpos albus</i>	Н				■														

Примечание. * – Н – нектаронос; П – пыльценос; Н-П – нектаропыльценос.

Выводы

В процессе интродукционного изучения на протяжении 13 лет (2009–2021 гг.) 33 таксонов медоносных древесных растений на участке Фрутицетум в Южно-Уральском ботаническом саду-институте УФИЦ РАН установлено, что по срокам цветения их можно разделить на четыре группы: весенние, весенне-летние, летние и летне-осенние. Все они характеризуются высокой зимостойкостью и различной продолжительностью цветения. Максимальную продолжительность цветения имеет курильский чай кустарниковый из группы летне-осенних, она составляет $118,8 \pm 5,0$ дней. Первым из медоносов на участке Фрутицетум зацветает абелиофиллум двурядный – $1.05 \pm 3,8$, позднее всех цветет пузыреплодник белый – $24.10 \pm 3,5$. Общая продолжительность цветения медоносов на участке длительного цветения с участием интродуцированных таксонов может составлять 177 дней (с 1 мая по 24 октября в среднем) в зависимости от погодных условий конкретного года.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЮУБСИ УФИЦ РАН по теме FMRS-2022-0072 «Биоразнообразие природных систем и растительные ресурсы России: оценка состояния и мониторинг динамики, проблемы сохранения, воспроизводства, увеличения и рационального использования».

Литература

1. Ильясов Р. А., Косарев М. Н., Юмагузин Ф. Г. Бурзянская бортевая пчела и бортевое пчеловодство на Южном Урале // Пчеловодство. 2015. № 7. С. 14–17.
2. Кулаков В. Н. Медоносные ресурсы и перспективы развития пчеловодства Российской Федерации. Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2012. 47 с.
3. Хисамов Р. Р., Фархутдинов Р. Г., Ташбулатов Р. К., Кулагин А. А. Кадастровая оценка медоносных ресурсов горно-лесной зоны Республики Башкортостан // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2014. № 2. С. 41–49.
4. Маннапов А. Г., Мустафин Р. Ф., Хисамов Р. Р., Фархутдинов Р. Г., Габидуллина Г. Ф., Султанов И. Ф., Дихин Д. Р. Изучение состояния и кадастровая оценка естественных медоносных ресурсов северной лесостепной зоны Республики Башкортостан // Естественные и технические науки. 2021. № 9 (160). С. 53–58. DOI: 10.25633/ETN.2021.09.04.
5. Мадебейкин И. И., Мадебейкин И. Н., Шилов В. А. Липа – важнейший медонос в кормовой базе пчеловодства России // Вестник Сумского национального аграрного университета. 2013. № 7. С. 153–155.
6. Гордеева Г. Н. Сезонный ритм развития видов *Tilia* L. в дендрарии Хакасии // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2019. № 18. С. 575–579. DOI: 10.14258/pbssm.2019121.
7. Бурмистров А. Н., Никитина В. А. Медоносные растения и их пыльца: Справочник. М.: Росагропромиздат, 1990. 192 с.
8. Самсонова И. Д. Оценка медоносных ресурсов на землях лесного фонда Ростовской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2015. № 1 (343). С. 45–53.
9. Samsonova I., Gryazkin A., Smirnov A., Mannapov A., Beljaev V. Bioresource potential of forest lands as the source of honey yield in steppe area of the river Don // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IV scientific-technical conference “Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education”. 2019. Vol. 316. Art. No. 012057. DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012057.
10. Atamuratova N. T., Mukhamatjanova R., Latypova E. A., Nevitov M. N. Biodiversity of melliferous plants of the Surkhadarya region and assessment of their use // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volga Region Farmland 2021 (VRF 2021). 2022. Vol. 953. Art. No. 012020. DOI: 10.1088/1755-1315/953/1/012020.
11. Самсонова И. Д., До Ван Тхао, Нгуен Тхи Зьонг, Сидаренко П. В. Динамика биоразнообразия медоносных ресурсов в структуре березняков // Лесотехнический журнал. 2019. № 4 (36). С. 73–81. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.4/8.
12. Rozhkov K., Lunegova I., Kuznetsov A. Medicinal plants in adaptive feeding of Honeybees // Journal of Animal Science. 2019. Vol. 97. No. S3. P. 214. DOI: 10.1093/jas/skz258.438.
13. Eremia N., Chiriac A., Zagareanu A. Use of feed additives for bee families growth stimulation during spring time // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2016. Vol. 22. No. 2. P. 15–18.

14. Полякова Н. В., Мурзабулатова Ф. К. Ассортимент декоративных кустарников для создания сада непрерывного цветения в условиях Башкирского Предуралья // Аграрная Россия. 2017. № 2. С. 10–17.
15. Мурзабулатова Ф. К., Полякова Н. В., Никитина Л. С., Путенихин В. П., Шигапов З. Х. Красивоцветущие и декоративно-лиственные кустарники (Фрутицетум, Сирингарий и некоторые другие коллекционные участки Уфимского ботанического сада). Уфа: «Мир печати», 2018. 152 с.
16. Минин А. А., Ананин А. А., Буйволов Ю. А., Ларин Е. Г., Лебедев П. А., Поликарпова Н. В., Прокошева И. В., Руденко М. И., Сапельникова И. И., Федотова В. Г., Шуйская Е. А., Яковлева М. В., Янцер О. В. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2020. Т. 5. № 4. С. 89–110. DOI: 10.24189/ncr.2020.060.
17. Лапин П. И., Александрова М. С., Бородина Н. А., Макаров С. Н., Петрова И. П., Плотникова Л. С., Сиднева С. В., Стогова Н. В., Шербачевич В. Д., Якушина Э. И. Древесные растения Главного ботанического сада АН СССР. М.: Наука, 1975. С. 18–19.
18. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
19. Кираев Р. С., Амирханов Д. В., Леонтьев И. П. Башкортостан: климат, почвы, культуры, сорта. Уфа: б/и, 2015. С. 5–47.
20. Почвенно-геоботанические условия города Уфы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://gossmi.ru/page/gosl_546.htm (дата обращения 28.02.2022).
21. Полищук В. П., Пилипенко В. П. Медоносные деревья и кустарники. Пчеловодство. Справочное пособие. Киев: Высшая школа, 1990. 312 с.
22. Ишемгулов А. М. Пыльценосные растения Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2012. 336 с.

References

1. Ilyasov R. A., Kosarev M. N., Yumaguzhin F. G. Burzyan wild-hive honeybee and wild-hive beekeeping in the South Urals // Beekeeping. 2015. No. 7. P. 14–17.
2. Kulakov V. N. Honey resources and prospects for the development of beekeeping in the Russian Federation. Author's abstract diss. ... Dr. Sc. (Biol.). Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2012. 47 p.
3. Khisamov R. R., Farkhutdinov R. G., Tashbulatov R. K., Kulagin A. A. Cadastral evaluation of melliferous resources of the mountain and forest zone of the Republic of Bashkortostan // Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. 2014. No. 2. P. 41–49.
4. Mannapov A. G., Mustafin R. F., Khisamov R. R., Farkhutdinov R. G., Gabidullina G. F., Sultanov I. F., Dikhin D. R. Study of the state and cadastral assessment of natural honey-bearing resources of the northern forest-steppe zone of the Republic of Bashkortostan // Natural and technical sciences. 2021. No. 9 (160). P. 53–58. DOI: 10.25633/ETN.2021.09.04.
5. Madebeykin I. I., Madebeykin I. N., Shilov V. A. Linden is the most important honey plant in the forage base of beekeeping in Russia // Bulletin of the Sumy National Agrarian University. 2013. No. 7. P. 153–155.
6. Gordeeva G. N. Seasonal rhythm of development of species *Tilia* L. in the arboretum of Khakasia // Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia. 2019. No. 18. P. 575–579. DOI: 10.14258/pbssm.2019121.
7. Burmistrov A. N., Nikitina V. A. Honey plants and their pollen: Handbook. Moscow: Rosagropromizdat, 1990. 192 p.
8. Samsonova I. D. Evaluation of nectariferous resources on forest lands of the Rostov region // Russian Forestry Journal. 2015. No. 1 (343). P. 45–53.
9. Samsonova I., Gryazkin A., Smirnov A., Mannapov A., Beljaev V. Bioresource potential of forest lands as the source of honey yield in steppe area of the river Don // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IV scientific-technical conference “Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education”. 2019. Vol. 316. Art. No. 012057. DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012057.
10. Atamuratova N. T., Mukhamatjanova R., Latypova E. A., Nevitov M. N. Biodiversity of melliferous plants of the Surkhadarya region and assessment of their use // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volga Region Farmland 2021 (VRF 2021). 2022. Vol. 953. Art. No. 012020. DOI: 10.1088/1755-1315/953/1/012020.
11. Samsonova I. D., Thao D. V., Duong N. T., Sidarenko P. V. Dynamics of biodiversity of nectar-bearing resources in the structure of birch forests // Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Engineering Journal]. 2019. No. 4 (36). P. 73–81. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.4/8.
12. Rozhkov K., Lunegova I., Kuznetsov A. Medicinal plants in adaptive feeding of honeybees // Journal of Animal Science. 2019. Vol. 97. No. S3. P. 214. DOI: 10.1093/jas/skz258.438.
13. Eremia N., Chiriac A., Zagareanu A. Use of feed additives for bee families growth stimulation during spring time // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2016. Vol. 22. No. 2. P. 15–18.

14. Polyakova N. V., Murzabulatova F. K. Assortment of ornamental shrubs for creation of continuous blossoming garden under the conditions of the Bashkir Cis-Urals // Agrarnaya Rossiya (Agrarian Russia). 2017. No. 2. P. 10–17.
15. Murzabulatova F. K., Polyakova N. V., Nikitina L. S., Putenikhin V. P., Shigapov Z. Kh. Beautifully flowering and ornamental deciduous shrubs (Fruticetum, Syringarium and some other collection sites of the Ufa Botanical Garden). Ufa: Mir pechati, 2018. 152 p.
16. Minin A. A., Ananin A. A., Buyvolov Yu. A., Larin E. G., Lebedev P. A., Polikarpova N. V., Prokosheva I. V., Rudenko M. I., Sapelnikova I. I., Fedotova V. G., Shuyskaya E. A., Yakovleva M. V., Yantser O. V. Recommendations to unify phenological observations in Russia // Nature Conservation Research. 2020. Vol. 5. No. 4. P. 89–110. DOI: 10.24189/ncr.2020.060.
17. Lapin P. I., Aleksandrova M. S., Borodina N. A., Makarov S. N., Petrova I. P., Plotnikova L. S., Sidneva S. V., Stogova N. V., Sherbatsevich V. D., Yakushina E. I. Woody plants of the Main Botanical Garden of the Academy of Sciences of the USSR. Moscow: Nauka, 1975. P. 18–19.
18. Zaitsev G. N. Mathematical statistics in experimental botany. Moscow: Nauka, 1984. 424 p.
19. Kiraev R. S., Amirkhanov D. V., Leontiev I. P. Bashkortostan: climate, soils, cultures, varieties. Ufa: w/o ed. 2015. P. 5–47.
20. Soil and geobotanical conditions of the city of Ufa. [Electronic resource]. Access point: http://gossmi.ru/page/gos1_546.htm. (reference's date 28.02.2022).
21. Polishchuk V. P., Pilipenko V. P. Honey trees and shrubs. Beekeeping. Reference manual. Kiev: Vysshaya shkola. 1990. 312 p.
22. Ishemgulov A. M. Pollenous plants of Bashkortostan. Ufa: Informreklama, 2012. 336 p.

UDC 638.132

Murzabulatova F. K., Polyakova N. V., Shigapov Z. Kh.

WOODY HONEY PLANTS FOR CREATING A LONG-TERM FLOWERING PLOT UNDER CONDITIONS OF THE BASHKIR CIS-URALS

Summary. Establishing a tree plantation site with varying flowering periods, including both native honey-bearing and introduced species acclimatized to the conditions of a particular region, can extend the total period of nectar and pollen collection. In this regard, the purpose of the work was to identify a group of woody honey plants introduced in the South Ural Botanical Garden-Institute (SUBGI) of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences to create a long-term flowering site in order to improve the productivity of beekeeping farms. For over 13 years (2009-2021), the study of the seasonal rhythm of development and winter hardiness of 33 taxa of honey-bearing woody introducers was carried out on the basis of the Fruticetum collection of the SUBGI according to generally accepted methods. All the studied taxa, including both species and some particularly resistant and unpretentious varieties, are characterized by high winter hardiness and different duration of flowering. According to the timing of flowering, they can be divided into four groups: spring (flowering in May), spring-summer (late May – June), summer (early June – mid-August) and summer-autumn (early June – late October). The most numerous in terms of the number of taxa are the groups of spring-summer and summer honey plants – 23 taxa including the main honey plant of Bashkortostan – linden. Honey plants from the group of spring and partially summer ones have a minimum flowering period – about 8-9 days. The maximum duration of flowering is observed in *Pentaphylloides fruticosa* from the summer-autumn group; it is 118.8 ± 5.0 days. On the Fruticetum site, *Abeliophyllum distichum* is the first to bloom (May 1 \pm 3.8 days); *Symphoricarpos albus* blooms later than all of the other studied species – October 24 \pm 3.5 days. The total duration of flowering of honey plants in the area of long flowering with the participation of introduced taxa can be 177 days (from May 1 to October 24 on average) depending on the weather conditions of a particular year.

Keywords: introduction, honey plants, nectar, pollen, flowering time, honey productivity, Republic of Bashkortostan.

Мурзабулатова Фануза Кавиевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории дендрологии и интродукции древесных растений, Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук; 450080, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Менделеева, 195, корпус 3; e-mail: murzabulatova@yandex.ru.

Полякова Наталья Викторовна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории дендрологии и интродукции древесных растений, Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук; 450080, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Менделеева, 195, корпус 3; e-mail: barhan93@yandex.ru.

Шигапов Зиннур Хайдарович, доктор биологических наук, директор, Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук; 450080, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Менделеева, 195, корпус 3; e-mail: botsad@anrb.ru.

Murzabulatova Fanuza Kaviyevna, Cand. Sc. (Biol.), researcher, Laboratory of dendrology and introduction of woody plants, South Ural Botanical Garden-Institute – a separate structural subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 195, building 3, Mendeleeva str., Ufa, 450080, Republic of Bashkortostan; e-mail: murzabulatova@yandex.ru.

Polyakova Natalya Viktorovna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher, Laboratory of dendrology and introduction of woody plants, South Ural Botanical Garden-Institute – a separate structural subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 195, building 3, Mendeleeva str., Ufa, 450080, Republic of Bashkortostan; e-mail: barhan93@yandex.ru.

Shigapov Zinnur Khaidarovich, Dr. Sc. (Biol.), Director, South Ural Botanical Garden-Institute – a separate structural subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 195, building 3, Mendeleeva str., Ufa, 450080, Republic of Bashkortostan; e-mail: botsad@anrb.ru.

Дата поступления в редакцию – 20.04.2022.

Дата принятия к печати – 01.06.2022.

УДК 631.51.01: 631.81: 633.16
EDN URZDYV

Носкова Е. Н., Козлова Л. М., Попов Ф. А., Светлакова Е. В.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ВИДОВ УДОБРЕНИЙ НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ, ЗАСОРЕННОСТЬ ПОСЕВОВ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯЧМЕНЯ

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

Реферат. *Ресурсосбережение при возделывании культур за счет минимизации обработки почвы, снижения доз удобрений, несомненно, является актуальным вопросом. Цель исследований – выявить изменения агрофизических свойств почвы, фитосанитарного состояния посевов, урожайности ярового ячменя сорта Новичок в зависимости от способа обработки почвы и системы минерального питания для последующей разработки ресурсосберегающей технологии возделывания. Опыты проводили в 2020–2021 гг. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве опытного поля ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» (г. Киров). Схема опыта предусматривала следующие варианты: фактор А (основная обработка почвы): вспашка на 20–22 см (контроль), плоскорезная комбинированная обработка на 14–16 см; фактор В (система удобрений): $N_0P_0K_0$ (контроль), $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{30}P_{30}K_{30}$ + подкормка органоминеральным удобрением (1 л/га) в фазе кущения, $N_{30}P_{30}K_{30}$ + подкормка карбамидно-аммиачной смесью (30 л/га) в фазе кущения, $N_{60}P_{60}K_{60}$. Более благоприятным по метеоусловиям для получения урожая ячменя был 2021 г. Плотность почвы в годы исследований находилась в оптимальных для дерново-подзолистой почвы значениях, в 2021 г. в фазе кущения отмечено уплотнение почвы до 1,35 г/см³. На засоренность посевов в 2020 г. изучаемые факторы существенного влияния не оказали – ее оценивали как «хорошую» по вспашке и «среднюю» по комбинированной обработке. В 2021 г. отмечено достоверное снижение засоренности малолетними и многолетними сорняками по вспашке на 23,5 и 17,5 шт./м² соответственно по сравнению с комбинированной обработкой. При внесении минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ как по вспашке, так и по комбинированной обработке отмечена наибольшая урожайность – 3,16–3,41 т/га, что на 1,73–1,94 т/га больше, чем в контроле. Относительно контроля без внесения удобрений прибавка от подкормок органоминеральным удобрением и карбамидно-аммиачной смесью составила от 1,11 до 1,50 т/га зерна.*

Ключевые слова: *яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) плотность, влажность почвы, продуктивная влага, засоренность посевов, урожайность.*

Для цитирования: *Носкова Е. Н., Козлова Л. М., Попов Ф. А., Светлакова Е. В. Влияние способов обработки почвы и видов удобрений на агрофизические свойства почвы, засоренность посевов и урожайность ячменя // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 148–158. EDN: URZDYV.*

For citation: *Noskova E. N., Kozlova L. M., Popov F. A., Svetlakova E. V. Influence of tillage methods and fertilizer types on agrophysical properties of soil, weed infestation of crops and yield of barley // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 148–158. EDN: URZDYV.*

Введение

Ячмень – одна из важнейших продовольственных и кормовых культур в Нечерноземье [1–3]. Он имеет большое преимущество перед другими зернофуражными культурами: является одной из наиболее засухоустойчивых

культур, менее требователен к теплу, обладает способностью к формированию достаточно высоких урожаев зерна [4–8].

Урожайность сельскохозяйственных культур в каждом природно-климатическом регионе определяется, в первую очередь, факторами окружающей среды, почвенными условиями, биологическим и антропологическим влиянием [9–10].

Одним из способов повышения урожайности ярового ячменя является применение минеральных удобрений [11]. В зависимости от их видов, сроков и способов внесения удовлетворяется потребность растений в питательных веществах, усиливается мобилизация элементов питания из почвы [12]. При правильно составленной системе удобрений элементы питания будут расходоваться более экономно, так как потребление их на формирование единицы продукции будет ниже [13].

Самым трудоемким и энергозатратным элементом возделывания сельскохозяйственных культур являются операции, связанные с обработкой почвы [14, 15]. Поэтому внедрение ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий возделывания, как одного из важнейших элементов современного земледелия, обладает большим преимуществом и способствует повышению экономической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур [16–17]. При этом основная обработка почвы – мощное средство воздействия на агрофитоценозы. Она активизирует почвенные процессы, делает доступными запасы питательных веществ для растений, уничтожает конкурентные организмы (сорняки, болезни, вредители) [18–19].

На данный момент одним из больших вызовов является потребность в обеспечении продовольственной безопасности и независимости России, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе, поэтому разработка высокоэффективных, экологически безопасных систем интегрированного применения агрохимических средств в агротехнологиях различной интенсификации, несомненно, является актуальной.

Цель исследований – выявить влияние удобрений и способов обработки почвы на агрофизические свойства дерново-подзолистой почвы, фитосанитарное состояние посевов для разработки ресурсосберегающей технологии возделывания ячменя в условиях Евро-Северо-Востока РФ.

Материалы и методы исследований

В 2020–2021 гг. проводили исследования в условиях стационарного опыта ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» на дерново-подзолистой почве, сформированной на элювии пермских глин. Объектами исследований являлись: почва, минеральные удобрения, яровой ячмень *Hordeum vulgare* L. сорта Новичок. Агрохимические показатели почвы: содержание гумуса – 2,00 % (по Тюрину), $pH_{\text{сол}}$ – 4,83, P_2O_5 – 191 мг/кг почвы, K_2O – 130 мг/кг почвы (по Кирсанову).

В 2020 г. средняя температура воздуха в мае составила 12,1 °С, что больше климатической нормы на 0,9 °С (таблица 1). Сумма эффективных температур выше 5 °С на 31 мая составила 226,6 °С. За месяц выпало 89 мм осадков, что на 165 % выше нормы. В 2021 г. средняя температура воздуха составила 15 °С, что на 3,8 °С выше климатической нормы. Повышенный температурный режим обусловил интенсивное накопление эффективного тепла, и на 31 мая сумма его достигла 320,4 °С. За месяц выпало 57 мм осадков, что составило 105 % от нормы.

В июне 2020 г. средняя температура воздуха составила 15,3 °С, что на 2,4 °С ниже климатической нормы. Сумма эффективных температур выше 5 °С к 30 июня

достигла 535 °С, что несколько ниже многолетней величины. За месяц выпало 40 мм осадков, что составило 57 % нормы. В июне 2021 г. средняя температура воздуха составила 19,9 °С, что на 3,4 °С выше климатической нормы. Сумма эффективных температур к концу месяца достигла 767,3 °С. За месяц выпало 63 мм осадков, это составило 80 % от нормы.

Таблица 1 – Метеоусловия в период проведения опыта (метеостанция г. Киров)

Месяц	Среднесуточная температура воздуха, °С				Количество осадков, мм				Сумма эффективных температур, °С	
	фактическая, °С		отклонение от нормы, %		фактическое, мм		отклонение от нормы, %		2020 г.	2021 г.
	2020 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.		
Май	12,1	15,0	+0,9	+3,8	89	57	165	105	226,6	320,4
Июнь	15,3	19,9	-2,4	+3,4	40	63	57	80	535,0	767,3
Июль	20,5	19,2	+1,6	+0,3	100	94	130	122	1016,0	1207,2
Август	15,1	18,8	-0,5	+3,2	61	37	79	48	1327,9	1634,8

Средняя за июль 2020 г. температура воздуха составила 20,5 °С, что на 1,6 °С выше климатической нормы. Сумма эффективных температур выше 5 °С к 31 июля составила 1016 °С, что на 76 °С больше средней многолетней величины. За месяц выпало 100 мм осадков, что составило 130 % нормы. В июле 2021 средняя температура воздуха составила 19,2 °С. Сумма эффективных температур выше 5 °С к 31 июля составила 1207,2 °С. Количество осадков за месяц составило 93,9 мм (122 % от нормы).

В среднем за август 2020 г. температура воздуха составила 15,1 °С, что близко к климатической норме. Сумма эффективных температур выше 5 °С на 31 августа достигла 1328 °С, что выше средней многолетней величины. За месяц выпало 61 мм осадков, что составило 79 % нормы. Средняя за август 2021 г. температура воздуха составила 18,8 °С, что на 3,2 °С выше нормы. Сумма эффективных температур к концу месяца достигла 1634,8 °С. В результате за месяц выпало 37 мм осадков (48 % от нормы).

Таким образом, сложившиеся погодные условия в период вегетации ярового ячменя в 2021 г. способствовали получению более высокой урожайности зерна по сравнению с 2020 г.

Схема опыта представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Схема опыта

Фактор А – основная обработка почвы	Фактор В – система удобрений
1. Вспашка на 20–22 см (контроль)	1. N ₀ P ₀ K ₀ (контроль)
	2. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀
2. Плоскорезная комбинированная обработка на 14–16 см	3. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + подкормка ОМУ (1 л/га) в фазе кушения
	4. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + подкормка КАС (30 л/га) в фазе кушения
	5. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀

Повторность опыта четырехкратная, площадь делянки 64 м², учетная площадь – 33,6 м². Предшественником ячменя был чистый пар, зяблевую обработку проводили в сентябре 2019 г. (первая закладка опыта) и сентябре 2020 г. (вторая закладка опыта). Сложное минеральное удобрение (азофоска N₁₆P₁₆K₁₆, фон) вносили вручную под предпосевную культивацию, посев ячменя проведен в начале второй декады мая из расчета 5,5 млн всхожих семян на 1 га (250 кг/га).

Вспашку проводили плугом ПЛН-3-35, плоскорезную обработку – комбинированным агрегатом, оборудованным плоскорезными лапами и дисковой

секцией. В качестве органоминерального удобрения (ОМУ) использовали удобрение «Полидон Амино Старт», в состав которого входят L-аминокислоты (200 г/л), азот (N общий – 130 г/л), фосфор (P_2O_5 – 75 г/л), калий (K_2O – 25 г/л), магний (MgO – 15 г/л), железо (Fe – 6 г/л), марганец (Mn – 3 г/л), цинк (Zn – 3 г/л), медь (Cu – 3 г/л), бор (B – 3 г/л), молибден (Mo – 1 г/л), кобальт (Co – 0,05 г/л). Подкормки осуществляли органоминеральным удобрением «Полидон Амино Старт» и карбамидно-аммиачной смесью (КАС 30). Исследования в опыте проводили по методикам Никитина Г. Ф. [20], Сафонова А. Ф., Стратоновича М. В. [21]. Наблюдения за агрофизическими свойствами почвы осуществляли объемно-весовым методом, засоренностью посевов – количественным методом, урожайностью – методом прямого комбайнирования, с пересчетом на стандартную влажность и чистоту. Статистическую обработку полученных данных осуществляли методом дисперсионного и корреляционного анализов с использованием пакета программ Microsoft Excel 2007.

Результаты и их обсуждение

Оптимальная плотность дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы для большинства сельскохозяйственных культур в целом и ячменя в частности составляет 1,0–1,3 г/см³. Анализ агрофизических показателей почвы в 2020 г. показал, что в фазе всходов ячменя почва в слое 0–20 см была близка к переуплотненному состоянию, на отдельных вариантах превышение составило 0,01–0,04 г/см³ (рисунок 1). Это связано в первую очередь с тем, что в период посева ячменя наблюдали преимущественно сухую, во второй и третьей декаде мая в основном с небольшими, лишь временами с сильными осадками погоду.

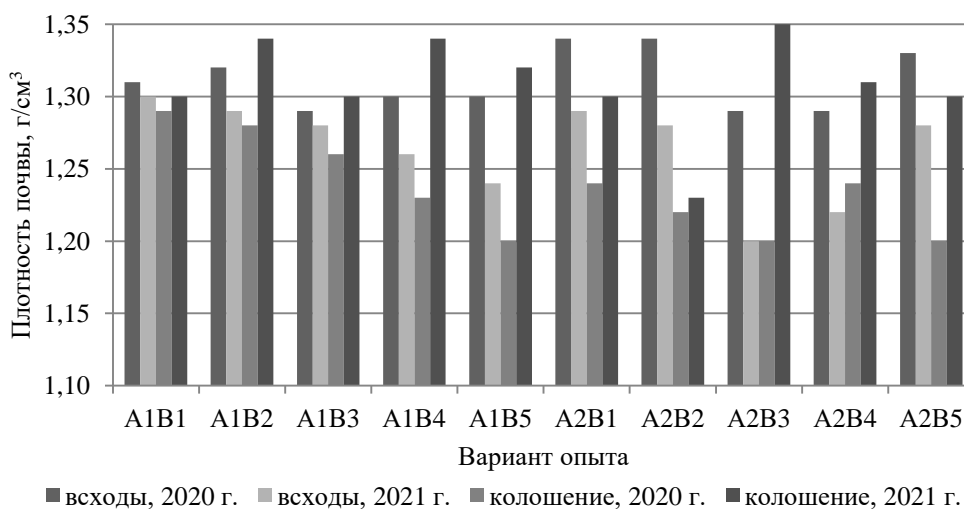


Рисунок 1 – Плотность пахотного слоя (0–20 см) почвы по фазам развития ячменя

К фазе колошения плотность пахотного слоя почвы по всем вариантам находилась в пределах оптимального значения и составила 1,20–1,29 г/см³. Установлена средняя отрицательная корреляционная зависимость между урожайностью и плотностью почвы в фазе колошения ($r = -0,65$, значимо на уровне $p = 95\%$). Изучаемые факторы не оказали существенного влияния на плотность почвы.

Влажность завядания на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве составляет 10–12 % (по В. И. Румянцеву [21]). Все изучаемые варианты обеспечили влажность почвы в фазе всходов ячменя на уровне 18,8–21,5 %, что превышает критический уровень. В динамике значительных изменений не отмечено, влажность

почвы в фазе колошения ячменя находилась в пределах 18,1–21,6 %. Способы обработки почвы и дозы удобрений не оказали значительного влияния на влажность почвы.

Запасы продуктивной влаги по шкале Вадюниной, Корчагиной [21] считаются «хорошими», если их в слое почвы 0–20 см более 40 мм, и «удовлетворительными» при содержании 20–40 мм. Во всех изучаемых вариантах запасы влаги в пахотном слое оценивали как «удовлетворительные», от 24,4 до 36,2 мм в фазе всходов и от 23,7 до 33,5 в фазе колошения ячменя (рисунок 2). Существенных различий по вариантам опыта не выявлено.

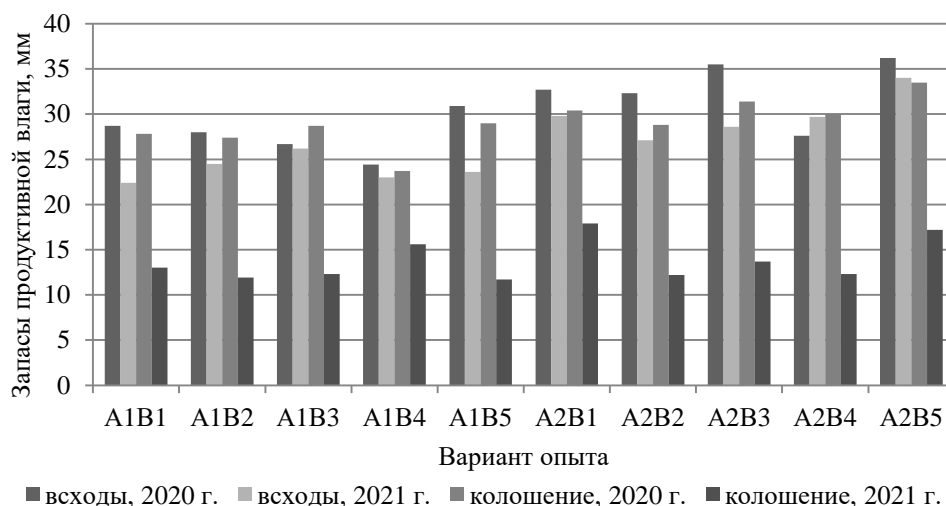


Рисунок 2 – Запасы продуктивной влаги в пахотном слое (0–20 см) почвы по фазам развития ячменя

Аналогичную картину наблюдали в 2021 г. – изучаемые способы обработки почвы и уровни минерального питания не оказали достоверного влияния на агрофизические показатели почвенного плодородия. В фазе всходов ячменя показатели плотности почвы находились в оптимальных значениях, как по вспашке, так и по комбинированной обработке. К фазе колошения отмечали незначительное увеличение плотности почвы до 1,35 г/см³. В среднем по вариантам обработки почвы плотность составила 1,32 г/см³ по вспашке и 1,30 г/см³ по комбинированной обработке. В фазе всходов во всех изучаемых вариантах запасы влаги оценивали как «удовлетворительные» – от 22,4 до 34,0 мм в фазе всходов. В фазе колошения запасы были «неудовлетворительные» и составили 11,7–17,9 мм. Достоверных различий в запасах продуктивной влаги между вариантами в фазе всходов и фазе колошения не отмечено.

Фитосанитарное состояние посевов (фаза выхода в трубку) с учетом экономического порога вредоносности считается «хорошим», если численность малолетних сорных растений не превышает 25 шт./м², многолетних – 5 шт./м², а пораженность болезнями – 10 % [22]. В 2020 г. преобладающим видом многолетних сорных растений был осот желтый (*Sonchus arvensis*), по его количеству варианты со вспашкой характеризовались «хорошим» фитосанитарным состоянием – 4–5 шт./м² (таблица 2), в вариантах с комбинированной обработкой оно было «средним» – 6–10 шт./м².

Преобладающими малолетними сорными растениями были вероника пашенная (*Veronica agrestis*) и подмаренник цепкий (*Galium aparine*). По количеству малолетних сорняков фитосанитарное состояние в вариантах со вспашкой также

оценивали как «хорошее» (22–25 шт./м²), с комбинированной обработкой – «среднее» (32–36 шт./м²).

В 2021 г. по количеству многолетних сорняков фитосанитарное состояние посевов оценивали как «среднее», а в некоторых вариантах – как «плохое» (до 40–45 шт./м²) (таблица 3). Отмечено достоверное снижение засоренности многолетними сорняками по вспашке по сравнению с комбинированной обработкой на 17,5 шт./м² (НСР₀₅A = 13,3). Преобладающим видом многолетних сорняков в посевах ячменя были осот желтый (*Sonchus arvensis*) и бодяк полевой (*Cirsium arvense*).

Таблица 2 – Засоренность посевов ячменя, шт./м²

Способ обработки почвы (А)	Вид и доза удобрений (В)	2020 г.		2021 г.	
		многолетние сорняки	малолетние сорняки	многолетние сорняки	малолетние сорняки
Вспашка	N ₀ P ₀ K ₀	4,0	24,0	10,0	22,5
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	4,0	22,0	7,5	38,7
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + ОМУ	5,0	25,0	10,0	23,7
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + КАС	4,0	23,0	12,5	32,5
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,0	23,0	22,5	23,5
	среднее по А1	4,4	23,4	12,5	28,2
Комбинированная обработка	N ₀ P ₀ K ₀	7,0	32,0	45,0	62,5
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	6,0	36,0	20,0	41,2
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + ОМУ	9,0	34,0	40,0	61,2
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + КАС	9,0	32,0	27,5	45,0
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	10,0	35,0	17,5	48,7
	среднее по А2	8,2	33,8	30,0	51,7
НСР ₀₅ A		F _ф <F _т	F _ф <F _т	13,3	13,0
НСР ₀₅ B		F _ф <F _т	F _ф <F _т	F _ф <F _т	F _ф <F _т
Среднее по фактору В	N ₀ P ₀ K ₀	5,5	28,0	27,5	42,5
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	5,0	29,0	13,8	40,0
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + ОМУ	7,0	29,5	25,0	42,4
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + КАС	6,5	27,5	20,0	38,7
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	7,5	29,0	20,0	36,1

Среди малолетних сорняков преобладали аистник обыкновенный (*Erodium cicutarium*), вероника пашенная (*Veronica agrestis*), марь белая (*Chenopodium album*). По количеству малолетних сорняков в вариантах: вспашка без применения минеральных удобрений, вспашка + N₃₀P₃₀K₃₀ + ОМУ, вспашка + N₆₀P₆₀K₆₀ состояние посевов оценивалось как «хорошее». В остальных вариантах количество малолетних сорняков составило 32,5–62,5 шт./м², что характеризуется как «среднее» и «плохое» фитосанитарное состояние посевов. При применении вспашки отмечено достоверное снижение засоренности малолетними сорняками на 23,5 шт./м² по сравнению с комбинированной плоскорезной обработкой. Применение различных доз и видов удобрений не оказало существенного влияния на рост засоренности посевов.

Анализ урожайности ячменя сорта Новичок в 2020 г. показал, что на этот показатель достоверное влияние оказал уровень минерального питания растений. Наименьшая урожайность отмечена в вариантах без применения удобрений – 0,66 т/га по вспашке и 0,76 т/га по комбинированной обработке (таблица 3).

Внесение минеральных удобрений в дозе 60 кг/га д.в. позволило достоверно повысить урожайность до 2,88 т/га, что в 3,1–4,0 раза выше (на 1,50–2,17 т/га) по сравнению с другими дозами удобрений. Применение сложных удобрений в дозе N₃₀P₃₀K₃₀ под предпосевную культивацию позволило увеличить урожайность на 1,66 т/га по сравнению с контролем. Внекорневые подкормки органоминеральным удобрением «Полидон Амино Старт» и КАС также способствовали увеличению

урожайности зерна ячменя на 1,70 и 1,66 т/га по сравнению с вариантами без внесения удобрений ($HCP_{05B} = 0,53$). Прибавка урожайности в этих вариантах произошла благодаря увеличению количества колосьев, продуктивной кустистости и веса зерна с колоса.

Таблица 3 – Урожайность ячменя сорта Новичок

Способ обработки почвы (А)	Вид и доза удобрений (В)	Урожайность, т/га		
		2020 г.	2021 г.	среднее
Вспашка	$N_0P_0K_0$	0,66	2,20	1,43
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	2,39	3,03	2,71
	$N_{30}P_{30}K_{30} + ОМУ$	2,14	2,93	2,54
	$N_{30}P_{30}K_{30} + КАС$	2,19	3,30	2,75
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	2,84	3,47	3,16
	среднее по А1	2,04	2,99	2,52
Комбинированная обработка	$N_0P_0K_0$	0,76	2,17	1,47
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	2,35	3,28	2,82
	$N_{30}P_{30}K_{30} + ОМУ$	2,68	3,18	2,93
	$N_{30}P_{30}K_{30} + КАС$	2,24	3,70	2,97
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	2,92	3,90	3,41
	среднее по А2	2,19	3,24	2,72
HCP_{05A}		$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$
HCP_{05B}		0,53	0,70	0,37
Среднее по фактору В	$N_0P_0K_0$	0,71	2,18	1,45
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	2,37	3,15	2,76
	$N_{30}P_{30}K_{30} + ОМУ$	2,41	3,00	2,73
	$N_{30}P_{30}K_{30} + КАС$	2,21	3,50	2,86
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	2,88	3,68	3,28

Урожайность ярового ячменя в 2021 г. варьировала от 2,17 до 3,90 т/га. Способы основной обработки почвы существенного влияния на этот показатель не оказали. Наименьшую урожайность получили в вариантах, где минеральные удобрения не вносили – 2,20 т/га по вспашке и 2,17 т/га по комбинированной обработке почвы. Наибольшая урожайность (3,90 т/га) была получена в варианте, сочетающем внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ и применение комбинированной обработки почвы. В варианте с внесением минеральных удобрений в дозе 30 кг д.в. и подкормкой в фазе кушения КАС при ресурсосберегающем способе обработки почвы урожайность была чуть ниже – 3,70 т/га. В среднем по вариантам внесение минеральных удобрений в дозах $N_{30}P_{30}K_{30}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$, а также проведение внекорневых подкормок «Полидон Амино Старт» и КАС позволяют достоверно повысить урожайность на 0,87–1,50 т/га ($HCP_{05B} = 0,70$).

Выявлены существенные прибавки урожая ячменя от применения различных видов и доз удобрений по сравнению с вариантами, где удобрения не вносили. Прибавка составила от 0,86 т/га при внесении 30 кг/га д.в. минеральных удобрений и применении ОМУ в фазе кушения до 1,50 т/га при внесении 60 кг/га д.в. ($HCP_{05B} = 0,70$).

В среднем за два года исследований можно отметить, что доля влияния уровня минерального питания в урожайности ярового ячменя составила 74,0 %. Установлено существенное ее увеличение при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ – на 0,43–1,84 т/га по сравнению с остальными вариантами ($HCP_{05B} = 0,37$).

Выводы

Проведенные исследования показали, что в условиях Евро-Северо-Востока на дерново-подзолистых почвах при выращивании ярового ячменя в качестве основной обработки почвы можно применять как традиционную отвальную вспашку, так и

комбинированную обработку на глубину 14–16 см, включающую в себя плоскорезное рыхление и обработку дисками.

Плотность почвы находилась в оптимальных значениях – 1,1–1,3 г/см³. В 2021 г. к фазе колошения отмечено уплотнение до 1,35 г/см³ по всем изучаемым вариантам. Влажность пахотного слоя почвы превышала влажность завядания и составила 18,1–21,6 % по фазам вегетации. Запасы продуктивной влаги в пахотном слое оценивали в основном как «удовлетворительные» 22,4–33,5 мм.

На засоренность посевов в 2020 г. ни способ основной обработки почвы, ни уровень минерального питания достоверного влияния не оказали, в 2021 г. применение отвальной вспашки достоверно снизило засоренность многолетними сорняками на 17,5 шт./м², малолетними – на 23,5 шт./м².

Прибавка от подкормки 30 л/га КАС при внесении N₃₀P₃₀K₃₀ составила 0,04 т/га по вспашке и 0,15 т/га по комбинированной обработке. Относительно контроля без внесения удобрений прибавка от листовых подкормок ОМУ и КАС составила от 1,11 до 1,50 т/га зерна.

Литература

1. Гладышева О. В., Левакова О. В. Потенциальная продуктивность ярового ячменя // Аграрная наука. 2016. № 10. С. 7–9.
2. Крючков М. М., Потапова Л. В., Ступин А. С., Новиков Н. Н. Основные элементы адаптивной системы земледелия Рязанской области // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета. 2013. № 2. С. 27–30.
3. Любек Н. И., Седяков М. В. Влияние условий возделывания на продуктивность линии ярового ячменя Л-1623 селекции ФГБНУ «Ленинградский НИИСХ «Белогорка» // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (53). С. 45–48. DOI: 10.24411/2078-1318-2018-14045.
4. Jones J. L., Allen E. J. Development in barley (*Hordeum sativum*) // The Journal of Agricultural Science. 1986. Vol. 107 (1). P. 187–213. DOI:10.1017/S0021859600066946.
5. Николаев П. Н., Юсова О. А., Пополухин П. Н., Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Адаптивный потенциал сортов Омского аграрного научного центра // Земледелие. 2019. № 1. С. 35–38. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10110.
6. Абдуллаев Р. А., Радченко Е. Е., Ковалева О. Н., Звейнек И. А., Баташева Б. А. Необходимые признаки сортов ячменя для адаптации к неблагоприятным погодным условиям // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5. С. 41–45.
7. Sakellariou M., Mylona P. V. New uses for traditional crops: the case of barley biofortification // Agronomy. 2020. Vol. 10. P. 1964. DOI: 10.3390/agronomy10121964.
8. Suman D., Sreeja V. Barley: A Cereal with Potential for Development of Functional Fermented Foods // International Journal of Fermented Foods. 2019. Vol. 8 (1). P. 1–13. DOI: 10.30954/2321-712X.01.2019.1.
9. Сычев В. Г., Афанасьев Р. А. Почвенно-агрохимические ресурсы повышения продуктивности земледелия в Приволжском регионе // Плодородие. 2017. № 4. С. 2–6.
10. Носков А. Н., Батакова О. Б., Корелина В. А. Сравнительная оценка гибридных форм ярового ячменя по урожайности и адаптивным свойствам в условиях Северного региона РФ // Земледелие. 2022. № 1. С. 33–37. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-1-35-39.
11. Mutlu A. The effect of organic fertilizers on grain yield and some yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) // Fresenius Environmental Bulletin. 2021. Vol. 29 (12). P. 10840–10846.
12. Гладышева О. В., Пестряков А. М., Свирина В. А., Красников Н. Г. Известкование для улучшения плодородия темно-серой лесной почвы // Вестник РАСХН. 2014. № 6. С. 26–27.
13. Завалин А. А., Калабашкин П. Н. Влияние минеральных удобрений и биопрепаратов на урожайность и качество семян синего люпина // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 10. С. 19–23.
14. Власов В. Г., Хахимов Р. А., Никифорова С. А. Формирование агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур в Ульяновской области // Научно-практическое руководство по освоению ресурсосберегающих агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур в хозяйствах Ульяновской области. Ульяновск: Ульяновский НИИСХ, 2015. С. 64–95.
15. Подсевалов М. И., Хайртдинова Н. А. Биозенергетическая эффективность возделывания зерновых бобовых культур в условиях Среднего Поволжья // Стратегия инновационного развития

агропромышленного комплекса. Материалы Международной научно-практической конференции. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия, 2013. С. 353–356.

16. Procházková B., Málek J., Dovrtěl J. Effect of different straw management practices on yields of continuous spring barely // *Plant Soil Environ.* 2002. Vol. 48. P. 27–32. DOI: 10.17221/4204-PSE.

17. Тойгильдин А. Л., Морозов В. И. Урожайность и белковая продуктивность многолетних трав в севооборотах лесостепи Поволжья // *Кормопроизводство.* 2014. № 1. С. 33–36.

18. Хайретдинова Н. А. Экология агроландшафтов: учебное пособие. Ульяновск: ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П. А. Столыпина», 2015. 264 с.

19. Сарычев А. Н. Способы основной обработки светло-каштановой почвы при возделывании ярового ячменя под защитой лесных полос // *Аграрный вестник Верхневолжья.* 2019. № 1 (26). С. 18–26.

20. Опытное дело в полеводстве // Под общ. ред. Никитина Г. Ф. М.: Россельхозиздат, 1982. 190 с.

21. Сафонов А. Ф., Стратонович М. В. Практикум по земледелию с почвоведением. М.: Агропромиздат, 1990. 208 с.

22. Сафонов А. Ф., Платонов И. Г. Методика разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия Нечерноземной зоны. М.: АНО «Издательство МСХА», 2001. 104 с.

Reference

1. Gladysheva O. V., Levakova O. V. Potential productivity of spring barley // *Agrarian Science.* 2016. No 10. P. 7–9.

2. Kryuchkov M. M., Potapova L. V., Stupin S. A., Novikov N. N. The main elements of the adaptive system of agriculture Ryazan region // *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev.* 2013. No. 2. P. 27–30.

3. Lyubek N. I., Sedyakov M. V. The influence of cultivation conditions on the productivity of spring barley Lines 1-1623 of Leningrad research institute of agriculture «Belogorka» selection // *Izvesniya Saint-Petersburg State Agrarian University.* 2018. No. 4 (53). P. 45–48. DOI: 10.24411/2078-1318-2018-14045.

4. Jones J. L., Allen E. J. Development in barley (*Hordeum sativum*) // *The Journal of Agricultural Science.* 1986. Vol. 107 (1). P. 187–213. DOI:10.1017/S0021859600066946.

5. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Popolzukhin P. V., Aniskov N. I., Safonova I. V. Adaptive potential of spring barley varieties originated from Omsk agrarian scientific center // *Zemledelie.* 2019. No. 1. P. 35–38. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10110.

6. Abdullaev R. A., Radchenko E. E., Kovaleva O. N., Zveynek I. A., Batasheva B. A. Necessary characteristics of barley varieties for adaptation to unfavorable weather conditions // *Vestnik of the Russian Agricultural Science.* 2018. No. 5. P. 41–45.

7. Sakellariou M., Mylona P. V. New uses for traditional crops: the case of barley biofortification // *Agronomy.* 2020. Vol. 10. P. 1964. DOI: 10.3390/agronomy10121964.

8. Suman D., Sreeja V. Barley: a cereal with potential for development of functional fermented foods // *International Journal of Fermented Foods.* 2019. Vol. 8 (1). P. 1–13. DOI: 10.30954/2321-712X.01.2019.1.

9. Sychev V. G., Afanasyev R. A. Soil-agrochemical resources for increasing the productivity of agriculture in the Volga region // *Plodorodie.* 2017. No. 4. P. 2–6.

10. Noskov A. N., Batakova O. B., Korelina V. A. Comparative evaluation of hybrid forms of spring barley by yield and adaptive properties under the conditions of the northern region of the Russian Federation // *Zemledelie.* 2022. No. 1. P. 33–37. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-1-35-39.

11. Mutlu A. The effect of organic fertilizers on grain yield and some yield components of barley (*Hordeum vulgare L.*) // *Fresenius Environmental Bulletin.* 2021. Vol. 29 (12). P. 10840–10846.

12. Gladysheva O. V., Pestryakov A. M., Svirina V. A., Krasnikov N. G. Liming for improving the fertility of dark-gray forest soil // *Vestnik of the Russian Agricultural Sciences.* 2014. No. 6. P. 26–27.

13. Zavalin A. A., Kalabashkin P. N. Influence of mineral fertilizers and biological preparations on productivity and grain quality of blue lupine // *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex.* 2015. No. 10. P. 19–23.

14. Vlasov V. G., Khakimov R. A., Nikiforova S. A. Formation of agricultural technologies for cultivating crops in the Ulyanovsk region // *Scientific and practical guide for the development of resource-saving agricultural technologies for cultivating crops in the farms of the Ulyanovsk region.* Ulyanovsk: Ulyanovsk Agricultural Research Institute, 2015. P. 64–95.

15. Podsevalov M. I., Khairtdinova N. A. Bioenergy efficiency of grain legumes cultivation in the Middle Volga region // *Strategy for innovative development of the agro-industrial complex. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference.* Kurgan: Kurgan State Agricultural Academy, 2013. P. 353–356.

16. Procházková B., Málek J., Dovrtěl J. Effect of different straw management practices on yields of continuous spring barely // *Plant Soil Environ.* 2002. Vol. 48. P. 27–32. DOI:10.17221/4204-PSE.

17. Toighildin A. L., Morozov V. I. Productivity and protein efficiency of perennial grasses in the crop rotations in the Volga forest-steppe // Fodder Production. 2014. No. 1. P. 33–36.
18. Khairetdinova N. A. Ecology of agro-landscapes: a textbook. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, 2015. 264 p.
19. Sarychev A. N. The ways of light-chestnut soil main tillage in the cultivation of spring barley under the protection of shelterbelts // Agrarian Journal of Upper Volga Region. 2019. No. 1 (26). P. 18–26.
20. Experimental field farming // Under general editorship of Professor Nikitin G. F. Moscow: Rosselkhozizdat, 1982. 190 p.
21. Safonov A. F., Stratonovich M. V. Workshop on agriculture with soil science. Moscow: Agropromizdat, 1990. 208 p.
22. Safonov A. F., Platonov I. G. Methodology for the development of adaptive landscape farming systems of the Non-Chernozem zone. Moscow: ANO "Moscow Timiryazev Agricultural Academy Publ.", 2001. 104 p.

UDC 631.13: 631.51.01: 631.81

Noskova E. N., Kozlova L. M., Popov F. A., Svetlakova E. V.

INFLUENCE OF TILLAGE METHODS AND FERTILIZER TYPES ON AGROPHYSICAL PROPERTIES OF SOIL, WEED INFESTATION OF CROPS AND YIELD OF BARLEY

Summary. Resource conservation in the cultivation of cereals by minimizing soil tillage, reducing doses of mineral fertilizers is, undoubtedly, an issue of concern. The aim of the research was to identify changes in agrophysical properties of soil, phytosanitary state of crops, yield of spring barley var. 'Novichok' depending on the method of primary tillage and mineral nutrition system for further development of resource-saving cultivation technology. The study was carried out in 2020–2021 on the experimental fields of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky (Kirov). Soil – sod-podzolics medium loamy. The experimental design included the following options: Factor A (primary tillage): plowing to a depth of 20–22 cm (control), flat-cutting combined soil cultivation to a depth of 14–16 cm; Factor B (mineral nutrition system): $N_0P_0K_0$ (control), $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{30}P_{30}K_{30}$ + top-dressing with organomineral fertilizer (1 t/ha) at the tillering stage, $N_{30}P_{30}K_{30}$ + top-dressing with urea-ammonia mixture (30 t/ha) at the tillering stage, $N_{60}P_{60}K_{60}$. In terms of weather conditions, year 2021 was more favorable for obtaining higher barley yields. During the research, density of sod-podzolic soil was optimal. Although in 2021, at the tillering stage, soil compaction up to 1.35 g/cm³ was noted. In 2020, studied factors had no significant impact on the weed infestation of crops. It (weediness) was estimated as "good" in the variant "plowing" and "average" – in the variant "combined soil cultivation". In 2021, there was a significant decrease in the number of annual and perennial weeds (by 23.5 and 17.5 pcs/m², respectively) after plowing compared to combined tillage. The maximum yield level was obtained when the dose of $N_{60}P_{60}K_{60}$ was applied: 3.16 t/ha in the variant "plowing"; 3.41 t/ha in the variant "combined soil cultivation", which was 1.73–1.94 t/ha more than in the control. Compared to the control variant ($N_0P_0K_0$), top-dressing with organomineral fertilizer and urea-ammonia mixture provided an increase in grain yield from 1.11 to 1.50 t/ha.

Keywords: spring barley (*Hordeum vulgare* L.), density, soil moisture content, productive moisture, weediness of sowings, yield capacity.

Носкова Евгения Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории земледелия ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого»; 610007 Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166А; e-mail: zemlede_l_niish@mail.ru.

Козлова Людмила Михайловна, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая отделом земледелия, агрохимии и кормопроизводства ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-

Востока им. Н.В. Рудницкого»; 610007 Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166А; e-mail: zemledele_niish@mail.ru.

Попов Фёдор Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, заведующий лабораторией агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого»; 610007 Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166А; e-mail: zemledele_niish@mail.ru.

Светлакова Елена Вячеславовна, младший научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого»; 610007 Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166А; e-mail: zemledele_niish@mail.ru.

Noskova Eugenia Nikolaevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, Laboratory of soil management, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky”; 166a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: zemledele_niish@mail.ru.

Kozlova Lyudmila Mikhailovna, Dr. Sc. (Agr.), head of the Department of crop farming, agrochemistry and fodder production, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky”; 166a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: zemledele_niish@mail.ru.

Popov Fyodor Aleksandrovich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, head of the Laboratory of agrochemistry and fodder production, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky”; 166a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: zemledele_niish@mail.ru.

Svetlakova Elena Vyacheslavovna, junior researcher of the Laboratory of agrochemistry and fodder production, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky”; 166a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: zemledele_niish@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 31.03.2022.

Дата принятия к печати – 29.04.2022.

УДК 631.586:631.6:631.874
EDN XPGAKM

Приходько А. В., Черкашина А. В., Караева Н. В.
**ВЛИЯНИЕ ФИТОМЕЛИОРАНТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ
ЧЕРНОЗЕМА ЮЖНОГО**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Фитомелиорация – улучшение почв с помощью растений – является одним из природоподобных способов улучшения физико-химических свойств почв и повышения их плодородия. Целью исследований было оценить влияние различных фитомелиорантов на показатели плодородия чернозема южного. Исследования проведены в 2016–2019 гг. в отделении полевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». В однофакторном опыте изучали восемь вариантов сидеральных паров с высевом следующих культур: озимые тритикале, рожь, вика, их смесь, донник желтый, клевер луговой, эспарцет песчаный, фацелия пижмолистная. Размещение вариантов опыта систематическое, повторность трёхкратная. Площадь делянок – 720 м². Математическая обработка – по Б. А. Доспехову. Установлено, что урожайность надземной фитомассы изучаемых агроценозов в среднем по опыту составила 21,9 т/га, сухого вещества – 4,87 т/га. Перед посевом пшеницы озимой содержание органического вещества в почве (по методу Тюрина в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26213-91) не зависело от видового состава фитомелиорантов и составило 2,4–2,6 %. Максимальное количество нитратного азота (ГОСТ 26951-86) в корнеобитаемом слое почвы содержалось после заделки многолетних бобовых трав: эспарцета (2,28 мг/100 г почвы), донника (1,95 мг/100 г почвы). Самые высокие показатели содержания подвижного фосфора (по методу Мачигина в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26205-91) 3,27 мг/100 г почвы и калия (ГОСТ 26205-91) 32,7 мг/100 г почвы отмечены после фацелии. Фитомелиоранты оказывали достоверное влияние на плотность почвы в корнеобитаемом слое. Перед посевом пшеницы озимой плотность почвы в слое 0–10 см после всех культур, кроме фацелии (1,17 г/см³) находилась в диапазоне 0,99–1,09 и была ниже оптимальной (1,15 г/см³). В центральной степи Крыма на черноземе южном подбор культур-фитомелиорантов должен зависеть от агрохимических и агрофизических характеристик почвы, а также севооборота.

Ключевые слова: почва, фитомелиоранты, сидерация, агроценоз, плодородие, плотность почвы.

Для цитирования: Приходько А. В., Черкашина А. В., Караева Н. В. Влияние фитомелиорантов на показатели плодородия чернозема южного // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 159–170. EDN: XPGAKM.

For citation: Prikhodko A. V., Cherkashyna A. V., Karaeva N. V. Influence of phytomeliorants on fertility indicators of chernozems southern // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 159–170. EDN: XPGAKM.

Введение

Вмешательство человека в природу и бесконтрольное использование её ресурсов спровоцировали обострение экологических проблем. В настоящее время экологическое состояние окружающей среды не только снижает качество жизни людей, но и представляет реальную угрозу для дальнейшего существования человечества. В сельскохозяйственном производстве интенсивная обработка земель и часто неоправданное применение в агротехнологиях широкого ассортимента

химических средств на фоне уменьшения внесения органических удобрений привели к снижению плодородия и деградации почв [1, 2].

В сложившейся ситуации возникает необходимость пересмотра существующих подходов к ведению аграрного производства. В последние годы в мире все больше внимания уделяется разработке принципиально новых экологически безопасных и малозатратных природоподобных технологий [3, 4].

Основываясь на изучении и использовании закономерностей протекания жизненно важных процессов в растениях и почве, такие технологии позволяют воспроизводить процессы, происходящие в живой природе, используя их в интересах человека. В частности, при решении проблемы воспроизводства плодородия почв ученые уделяют пристальное внимание вопросам активизации агрономически полезных процессов в почвенной среде, обусловленных жизнедеятельностью растений и микроорганизмов.

Одним из природоподобных способов улучшения физико-химических свойств и повышения плодородия почв является фитомелиорация – улучшение почв с помощью растений [5, 6].

Благодаря способности растений образовывать органические вещества, которые после заделки в почву с помощью микроорганизмов преобразуются в доступные для растений формы. Фитомелиоранты способствуют накоплению гумуса, положительно влияют на протекание почвообразовательных процессов, улучшают физико-химические свойства и активизируют биологическую активность почв [7–9]. При паровой системе содержания почвы, под влиянием микроорганизмов происходят процессы минерализации органического вещества и преобразование труднорастворимых соединений в доступные для растений формы [9]. Доказано, что улучшение физических свойств почв, в частности структуры, происходит благодаря уменьшению количества пылевидных и комковатых фракций, а насыщение почвенно-коллоидного поглотительного комплекса кальцием обеспечивает интенсивное повышение водостойкости агрегатов [10].

Эффект от применения фитомелиорантов обусловлен целым рядом факторов: продуктивностью и химическим составом биомассы растений, продолжительностью вегетации, морфологическим строением корневой системы, особенностью водопотребления и минерального питания. При использовании в качестве фитомелиорантов многолетних бобовых трав (эспарцет, донник) и зернобобовых культур (люпин, горох, чина, вика) почва обогащается азотом, а их мощная корневая система разрыхляет нижние слои почвы, повышая фильтрационную способность [11]. Злаковые культуры (рожь, тритикале) оставляют много пожнивных и корневых остатков, способствуя накоплению органических веществ и улучшая агрегатный состав корнеобитаемого слоя почвы. Крестоцветные (горчица, рапс, редька) способствуют оздоровлению почвы, снижению количества фитопатогенов и сорняков [12].

Люпины, горчица, гречиха, фацелия, обладающие способностью использовать питательные вещества из труднорастворимых соединений, обогащают почву доступными культурным растениям фосфатами, кальцием, железом и микроэлементами.

Использование фитомелиорантов в сидеральных парах позволяет, сохраняя достоинства паров как накопителей влаги и очистителей полей от сорняков, обогатить почву органическими веществами [13], снижая опасность ветровой и водной эрозии.

Севообороты с занятым и сидеральными парами способны накапливать в год до 300 кг/га и более свежего органического вещества, обеспечивая бездефицитный

баланс гумуса, на 0,32–0,43 % повышая его общее содержание по сравнению с чистым паром [14].

Эффективность использования фитомелиорантов в значительной степени определяется гидротермическим режимом [15]. В условиях воздушной и почвенной засух, которые ежегодно наблюдаются в степном Крыму, очень важно, чтобы фитомелиоранты не только обогащали почву органическим веществом, но и улучшали ее физико-химические параметры, максимально сохраняя и накапливая доступную растениям влагу.

Цель исследований – оценить влияние различных фитомелиорантов на показатели плодородия чернозема южного в условиях засушливого климата.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2016–2019 гг. в стационарном опыте отделения полевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (с. Клепинино, Красногвардейский р-н, Республика Крым) на черноземе южном слабогумусированном. Гумусовый горизонт мощностью около 40 см, содержание гумуса (по Тюрину) – 2,0–2,2 % [17].

В однофакторном опыте по методике Б.А. Доспехова [18] изучали восемь вариантов сидеральных паров с высевом следующих культур: фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia* Vent.), тритикале озимой (*Triticale aestivumforme*), ржи озимой (*Secale cereale* L.), вика озимая (*Vicia pannonica*), смеси озимых (тритикале – 40 кг/га, рожь – 40 кг/га, вика – 100 кг/га), многолетних бобовых трав – донник желтый (*Melilotus officinalis* Mill.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria* (Kit. ex Willd.) DC.).

Объект исследования – процесс изменения показателей плодородия почвы под влиянием фитомелиорантов. Предмет исследования – агроценозы фитомелиорантов.

Размещение вариантов систематическое, повторность трёхкратная. Площадь делянок – 720 м².

Многолетние бобовые травы подсеивали под покров ярового ячменя в первой декаде марта. Посев озимых культур (тритикале, рожь, вика и смесь этих культур) производился в третьей декаде октября, фацелии – ранней весной при первой возможности выхода в поле.

Фитомелиоранты использовали при достижении растениями фазы «начало колошения» у злаковых и «бутонизация – начало цветения» у культур других семейств. Проводили скашивание и измельчение биомассы кормоуборочным комбайном «Рось-2» в агрегате с трактором МТЗ-82 с последующей заделкой в почву дисковой бороной БДТ-6 в два следа на глубину 10–15 см. При достижении растениями фазы использования определяли содержание сырой золы в сухом веществе (ГОСТ 26226-95) и органического вещества (путем вычитания массовой доли сырой золы из массовой доли сухого вещества), общего азота (по Кьельдалю, ГОСТ 13496.4-93), общего фосфора (ГОСТ 26717-85) и общего калия (ГОСТ 26718-85). Перед посевом следующей в севообороте культуры – озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) определяли содержание в почве: органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), нитратного азота – ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86), подвижных соединений фосфора и калия (по методу Мачигина в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26205-91), запасы продуктивной влаги в пахотном (0–20 см) и метровом слоях почвы (термостатно-весовым методом), плотность почвы (по методу Качинского) [19]. Статистический анализ полученных экспериментальных данных проводили методом однофакторного дисперсионного анализа [18].

Климат центральной степи Крыма континентальный, полусухой с ежегодными воздушными и почвенными засухами в период вегетации растений. Среднегодовая температура воздуха – 10,8 °С, сумма атмосферных осадков – 448 мм [20].

Среднесуточная температура за вегетационный период фитомелиорантов в 2016–2017 гг. была близкой к среднегодовой норме, в 2017–2018 гг. превышала норму на 2,0 (у многолетних бобовых трав) –2,5 °С (у фацелии), в 2018–2019 гг. превышение составило 1–1,6 °С в зависимости от культуры (рисунок 1).



Рисунок 1 – Среднесуточная температура воздуха за вегетационный период

Условия увлажнения вегетационного периода всех культур в 2017–2018 гг. характеризовались как неблагоприятные, выпало минимальное количество осадков, 39,3–71,6 % от среднегодовой нормы (рисунок 2).

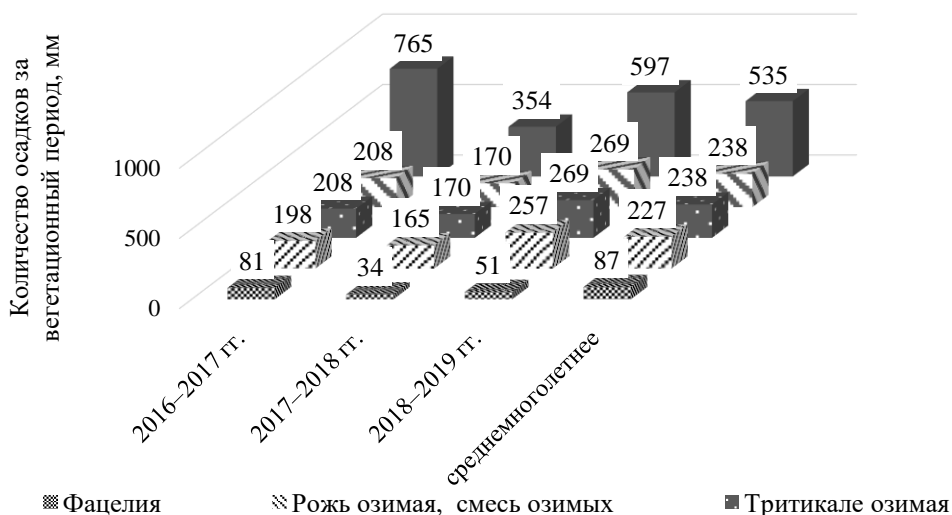


Рисунок 2 – Количество осадков за вегетационный период

У тритикале озимой, вики озимой и фацелии наблюдали недобор осадков в период 2016–2017 гг., однако за период вегетации многолетних трав выпало 143,0 % от среднегодовой нормы.

Результаты и их обсуждение

В условиях центральной степи Крыма урожайность зеленой массы в среднем по опыту составила 21,9 т/га, сухого вещества – 4,87 т/га. Агротеннозы донника и

эспарцета обеспечивали максимальное поступление надземной фитомассы в почву – 29,1 и 27,1 т/га (рисунок 3).

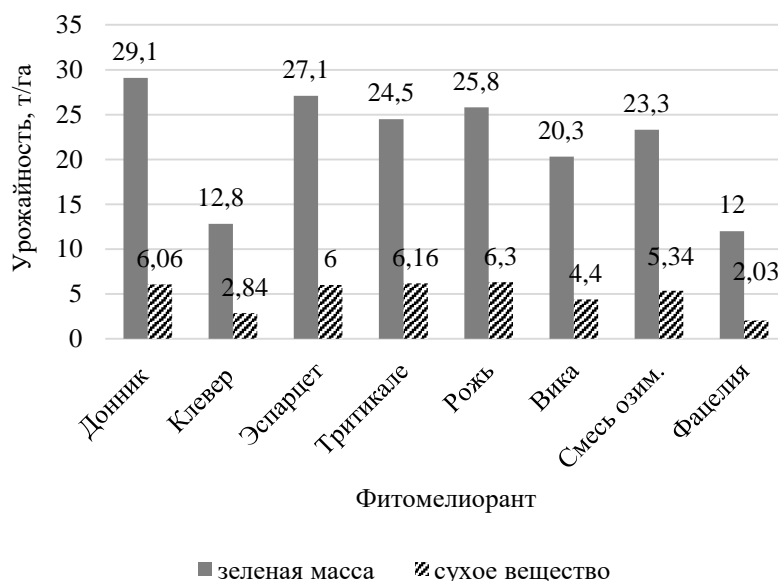


Рисунок 3 – Урожайность биомассы фитомелиорантов (среднее за 2017–2019 гг.)

Примечание. НСР₀₅ для зеленой массы – 4,7 т/га; НСР₀₅ для сухого вещества – 0,95 т/га.

Однако по урожайности сухого вещества лидирующие позиции заняли агроценозы озимых культур: ржи – 6,30 т/га и тритикале – 6,16 т/га. Дополнительным преимуществом ржи являлось самое раннее наступление фазы использования (4–6 мая), что на неделю раньше вика озимой. У эспарцета, донника и тритикале, клевера, фацелии наступление укосной спелости было отмечено позже ржи озимой на 9, 11, 15 и 17 дней соответственно.

Самая низкая продуктивность агроценозов, как по урожайности зеленой массы – 12,2 и 12,8 т/га, так и по сухому веществу – 2,03 и 2,84 т/га отмечена у фацелии и клевера.

В среднем за годы проведения исследований наиболее высокое содержание органики в сухом веществе – 92,6–93,0 % наблюдали в агроценозах эспарцета, ржи и тритикале (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав биомассы фитомелиорантов и содержание основных элементов питания в надземной фитомассе (среднее за 2017–2019 гг.)

Фитомелиорант	Химический состав сухого вещества, %				Содержание в надземной фитомассе, кг/га			
	органика	азот	фосфор	калий	органика	азот	фосфор	калий
Донник	91,4	2,57	0,55	2,18	5523	156	33	132
Клевер	86,9	2,60	0,60	2,52	2510	74	17	72
Эспарцет	93,0	2,37	0,58	2,37	5557	142	35	142
Тритикале	92,6	1,32	0,55	2,05	5720	81	34	126
Рожь	93,0	1,57	0,59	2,09	5877	99	37	132
Вика	90,0	2,38	0,51	2,79	3967	105	22	123
Смесь озимых	90,5	2,03	0,64	2,77	4833	108	34	148
Фацелия	79,1	2,26	0,61	3,26	1613	46	12	66
НСР ₀₅					860	30,1	6,4	25,5

Бобовые травы (донник, клевер, эспарцет и вика), благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями, накопили больше азота. Максимальное его количество – 2,57 и 2,60 % отмечено у донника и клевера, а самое низкое – у злаков: тритикале и ржи 1,32 и 1,57 % соответственно.

По содержанию фосфора выделилась смесь озимых культур – 0,64 %, а фацелия превзошла все культуры по содержанию калия – 3,26 %. Растения этой культуры содержали в сухом веществе только 79,1 % органики, что на 7,8–13,9 % меньше относительно остальных культур. Соответственно, травостой фацелии характеризовался повышенным содержанием минеральных веществ. Это может служить косвенным доказательством того, что растения этой культуры лучше других используют из почвы труднодоступные минеральные соли.

Количество органического вещества и основных элементов питания, поступивших в почву в результате заделки фитомассы различных культур, определялось ее урожайностью и химическим составом. В среднем за годы исследований наибольшее количество органики поступило в почву при использовании в качестве зеленого удобрения биомассы ржи – 5,88 т/га и тритикале – 5,72 т/га. Агроценозы донника и эспарцета обеспечили максимальное поступление азота, соответственно – 156 и 142 кг/га, озимая рожь превзошла все фитомелиоранты по фосфору – 37 кг/га, а смесь озимых культур – по калию – 148 кг/га. Самые низкие показатели обеспечения почвы как органическим веществом, так и основными минеральными элементами питания отмечены после сидерации наименее продуктивных агроценозов фацелии и клевера.

В таблице 2 приведены результаты химического анализа корнеобитаемого слоя почвы (0–30 см) после заделки надземной фитомассы изучаемых фитомелиорантов перед посевом озимой пшеницы.

Таблица 2 – Содержание органического вещества и основных элементов питания перед посевом озимой пшеницы (среднее за 2017–2019 гг.)

Фитомелиорант	Органическое вещество, %	Основные элементы питания в доступной растениям форме, мг/100 г почвы		
		N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Донник	2,4	1,95	2,84	29,7
Клевер	2,4	1,88	2,26	29,2
Эспарцет	2,5	2,28	2,73	30,4
Тритикале	2,5	1,20	2,82	30,3
Рожь	2,5	1,79	2,60	30,0
Вика	2,4	1,71	2,94	27,0
Смесь озимых	2,4	1,57	2,78	29,1
Фацелия	2,6	1,46	3,27	32,7

Перед посевом озимой пшеницы содержание органического вещества в почве не зависело от видового состава фитомелиорантов и составило 2,4–2,6 %. Это является свидетельством того, что, независимо от количества биомассы, поступившей после сидерации, за довольно продолжительный период парования поля, она практически вся была минерализована почвенными микроорганизмами в доступные для растений формы. Однако видовой состав фитомелиорантов оказывал влияние на содержание основных элементов питания. Максимальное количество нитратного азота в корнеобитаемом слое почвы содержалось после заделки многолетних бобовых трав: эспарцета – 2,28, донника – 1,95 и клевера – 1,88, а минимальное – после озимой тритикале – 1,20 мг/100 г почвы. Самые высокие показатели содержания подвижного фосфора – 3,27 и калия – 32,7 мг/100 г почвы отмечены после фацелии. Это еще раз подтверждает, что эта культура лучше других использует труднорастворимые соли с

участием этих элементов, преобразовывая их в доступные для культурных растений соединения.

По-разному проявили себя изучаемые агроценозы и в отношении использования почвенной влаги. В посевах многолетних трав в метровом слое почвы в ранневесенний период содержалось 98–107 мм продуктивной влаги. В агроценозах полевых культур влагозапасы находились в диапазоне 84–91 мм. В период активной вегетации фитомелиоранты интенсивно использовали почвенную влагу и к моменту достижения растениями фазы использования, ее запасы снизились в среднем более чем на половину, а в агроценозах эспарцета и тритикале потребление почвенной влаги достигло соответственно 67 и 69 % от ранневесенних запасов. За период от заделки фитомелиорантов до наступления календарных сроков посева озимых культур запасы почвенной влаги существенно не пополнились. Более значительные запасы сформировались после сидерации озимой вики – 51 мм, а самое низкое их количество наблюдали после агроценозов тритикале, эспарцета и смеси озимых культур – 37 мм (рисунок 4).

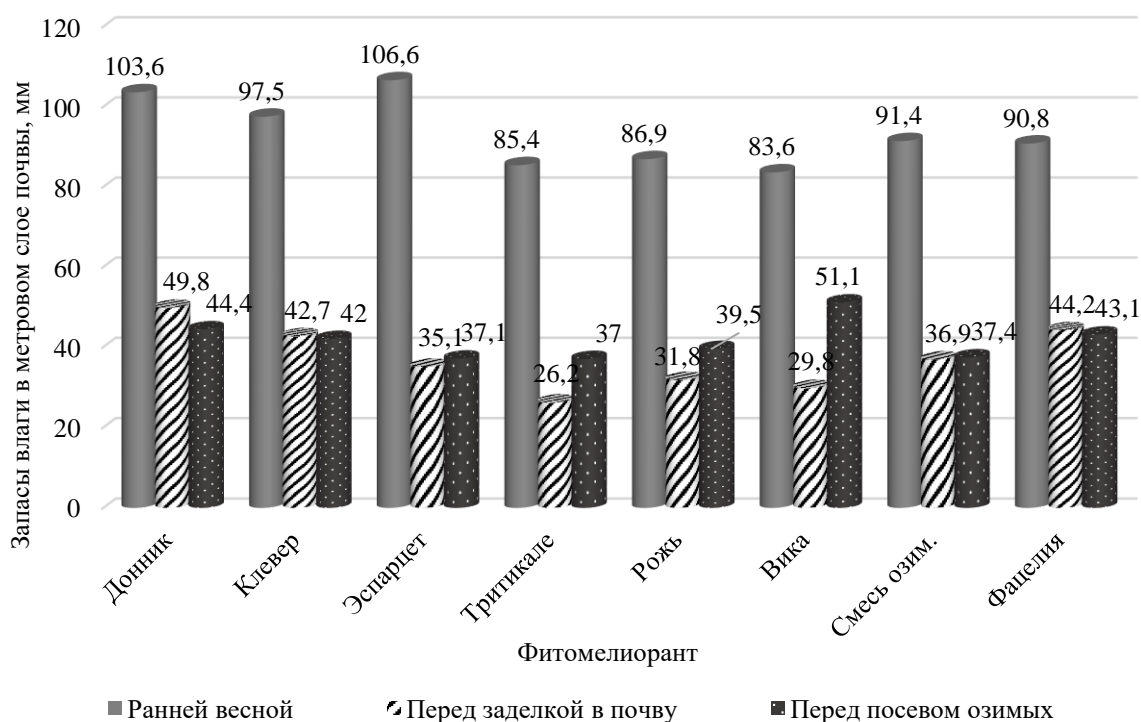


Рисунок 4 – Динамика запасов влаги в метровом слое почвы в агроценозах фитомелиорантов (среднее за 2017–2019 гг.)

За весь период исследований только осенью 2018 г. сложились относительно благоприятные условия влагообеспеченности почвы перед посевом озимых культур. В остальное время отмечали дефицит влаги.

В процессе вегетации изучаемые культуры оказывали влияние на плотность корнеобитаемого слоя почвы. Перед заделкой фитомелиорантов в почву, в среднем за три года исследований, наименьшая плотность почвы отмечена в агроценозах злаковых культур. Они имеют хорошо развитую мочковатую корневую систему, которая располагается в верхних слоях, интенсивно разрыхляя ее. Нами отмечены самые низкие показатели плотности почвы в слое 0–10 см в посевах тритикале и смеси озимых (0,96 и 0,97 г/см³), а 10–20 см – тритикале и ржи (1,36 и 1,37 г/см³).

Многолетние травы, имея стержневую корневую систему, сосредоточенную в глубоких горизонтах почвы, в меньшей степени разуплотняли верхние слои (таблица 3).

Таблица 3 – Динамика плотности верхних слоев почвы, г/см³ (2017–2019 гг.)

Фитомелиорант	Перед заделкой сидерата в почву			Перед посевом пшеницы озимой		
	0–10 см	10–20 см	20–30 см	0–10 см	10–20 см	20–30 см
Донник	1,05	1,41	1,52	1,09	1,47	1,53
Клевер	1,11	1,42	1,49	1,08	1,39	1,51
Эспарцет	1,10	1,42	1,53	1,06	1,46	1,51
Тритикале	0,96	1,36	1,47	1,04	1,44	1,50
Рожь	1,03	1,37	1,54	1,09	1,35	1,50
Вика	1,00	1,41	1,48	0,99	1,45	1,53
Смесь озимых	0,97	1,46	1,50	1,08	1,41	1,57
Фацелия	1,07	1,40	1,56	1,17	1,46	1,60
НСР ₀₅	0,12	F _φ < F ₀₅	F _φ < F ₀₅	0,13	F _φ < F ₀₅	F _φ < F ₀₅
Средняя по опыту	1,04	1,41	1,51	1,07	1,43	1,53

За период от заделки фитомелиорантов до сева озимой пшеницы происходило уплотнение почвы. В среднем по опыту к моменту сева озимых культур происходило увеличение плотности почвы в слоях: 0–10 см – от 1,04 до 1,07 г/см³; 10–20 см – от 1,41 до 1,43 г/см³, 20–30 см – от 0,51 до 1,53 г/см³. Этому процессу способствовали атмосферные осадки и механические обработки сидеральных паров. Более интенсивно процессы уплотнения почвы происходили после использования в качестве сидератов злаковых культур и фацелии. Таким образом, разуплотнение, которое отмечали при возделывании злаковых культур перед заделкой в почву, ко времени сева озимых практически полностью нивелировалось. При этом плотность почвы в слое 0–10 см после всех культур, кроме фацелии (1,17 г/см³) находилась в диапазоне 0,99–1,09 и была ниже оптимальной (1,15 г/см³).

В условиях центральной степи Крыма на черноземе южном подбор культур-фитомелиорантов должен зависеть от агрохимических и агрофизических характеристик почвы и культур севооборота. Для улучшения азотного питания растений предпочтительными культурами являются бобовые травы (донник, эспарцет, вика озимая). Фацелия увеличивает содержание подвижного фосфора и обменного калия. Озимые рожь и тритикале участвуют в разуплотнении верхних горизонтов почвы и пополняют запасы органических веществ.

Выводы

Урожайность надземной фитомассы изучаемых агроценозов в среднем по опыту составила 21,9 т/га, сухого вещества – 4,87 т/га. Агроценозы донника и эспарцета обеспечили максимальное поступление с фитомассой в почву азота, соответственно – 156 и 142 кг/га, озимая рожь – фосфора – 37 кг/га, а смесь озимых культур – калия – 148 кг/га.

Перед посевом озимой пшеницы содержание органических веществ в почве фактически не зависело от видового состава фитомелиорантов и составило 2,4–2,6 %. Максимальное количество нитратного азота в корнеобитаемом слое почвы содержалось после сидерации многолетних бобовых трав: эспарцета – 2,28, донника – 1,95 и клевера – 1,88 мг/100 г почвы. Самые высокие показатели содержания подвижного фосфора – 3,27 и обменного калия – 32,7 мг/100 г почвы отмечены после фацелии.

Анализ динамики запасов влаги в метровом слое почвы показал, что агроценозы фитомелиорантов во время вегетации активно потребляли влагу, а за

период от их заделки до посева озимых культур, запасы почвенной влаги существенно не пополнялись, поэтому наблюдался дефицит влаги.

Разуплотнение почвы, которое отмечалось при возделывании злаковых культур перед заделкой в почву, ко времени сева озимых практически полностью нивелировалось. Перед посевом пшеницы озимой плотность почвы в слое 0–10 см после всех культур, кроме фацелии (1,17 г/см³) находилась в диапазоне 0,99–1,09 и была ниже оптимальной (1,15 г/см³).

В условиях центральной степи Крыма на черноземе южном для улучшения азотного питания растений предпочтительными фитомелиорантами являются бобовые травы, для повышения содержания подвижного фосфора и обменного калия – фацелия. Озимые рожь и тритикале активно разуплотняют верхние горизонты почвы и пополняют запасы органических веществ.

Литература

1. Лебедева И. И., Королёва И. Е., Гребенников А. М. Концепция эволюции чернозёмов в условиях агроэкосистем // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2013. Вып. 71. С. 16–26.
2. Levykin S. V., Chibilev A. A., Gulyanov Yu. A., Kazachkov G. V., Yakovlev I. G. The current natural-anthropogenic threats to the steppe landscape stability // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 9th International Symposium “Steppes of Northern Eurasia”. Orenburg, 2021. Vol. 817. Art. No. 012059. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012059.
3. Гулянов Ю. А. Эффективность природоподобных влагосберегающих приёмов в ландшафтно-адаптивных системах земледелия степной зоны Оренбургского Предуралья // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3(23). С. 79–92. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-79-92.
4. Турин Е. Н., Женченко К. Г., Гонгало А. А. Перспективы использования технологии возделывания сельскохозяйственных культур без обработки почвы в зоне рискованного земледелия Республики Крым // Проблемы и перспективы инновационного развития сельских территорий Крыма: Коллективная монография // Под ред. В. С. Паштецкого. Симферополь: «АРИАЛ», 2019. С. 207–212.
5. Мушаева К. Б. Эффективность фитомелиорации пастбищ на черных землях Калмыкии // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2015. № 1 (37). С. 1–5.
6. Игнатова Г. А. Фитомелиоранты и их применение // Вестник аграрной науки. 2018. № 4(73). С. 25–28. DOI: 10.15217/issn2587-666X.2018.4.25.
7. Пуртова Л. Н., Костенков Н. М., Киселева И. В., Емельянов А. Н. Влияние фитомелиорации на показатели плодородия агрогенных почв Приморья // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21671> (дата обращения: 16.02.2022).
8. Суюндуков Я. Т., Миркин Б. М., Абдулин М. Р., Хасанова Г. Р., Сальманова Э. Ф. Роль фитомелиорации в воспроизводстве плодородия чернозёмов Зауралья // Почвоведение. 2007. № 10. С. 1217–1225.
9. Prikhodko A. V., Cherkashyna A. V., Zubochenko A. A., Svyatyuk Y. V., Gongalo A. A., Pikhтерева A. V., Moreva T. B. Influence of composition species of green manure crops on soil fertility // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE 2021), Ussurijsk, 2021. Vol. 937. Iss. 3. Art. No. 032022. DOI: 10.1088/1755-1315/937/3/032022.
10. Tsapko Yu. L., Ohorodnia, A. I. Optimization of fertility indices of podzolic soils via cultivation of phytomeliorants // Agricultural Science and Practice. 2018. Vol. 5. Iss. 1. P. 42–50. DOI: 10.15407/agrisp5.01.042.
11. Rani K., Sharma P., Kumar S., Wati L., Kumar R., Gurjar D. S., Kumar D. Legumes for sustainable soil and crop management // Sustainable Management of Soil and Environment. 2019. P. 193–215. DOI: 10.1007/978-981-13-8832-3_6.
12. Jin X., Zhang J., Shi Y., Wu F., Zhou X. Green manures of Indian mustard and wild rocket enhance cucumber resistance to Fusarium wilt through modulating rhizosphere bacterial community composition // Plant and Soil. 2019. Vol. 441. Iss. 1-2. P. 283–300. DOI: 10.1007/s11104-019-04118-6.
13. Amede T., Legesse G., Agegnehu G., Gashaw T., Degefu T., Desta G., Mekonnen K., Schulz S., Thorne P. Short term fallow and partitioning effects of green manures on wheat systems in East African highlands // Field Crops Research. 2021. Vol. 269. Art. No. 108175. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108175.
14. Соснина И. Д. Влияние видов органических и минеральных удобрений на урожайность зерновых, продуктивность пашни и сохранение плодородия почвы // Достижения науки и техники АПК. № 5. 2013. С. 32–36.

15. Приходько А. В., Черкашина А. В. Продуктивность сидеральных культур в различных гидротермических условиях // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 144–154. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-144-154.
16. Приходько А. В., Караева Н. В., Зубоченко А. А. Способы использования зеленой массы озимой тритикале в качестве удобрения в условиях степного Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 4(24). С. 161–170. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-161-170.
17. Половицкий И. Я., Гусев П. Г. Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симферополь: Таврия, 1987. 152 с.
18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Пятое издание, переработанное и дополненное. М.: Альянс, 2014. 351 с.
19. Качинский Н. А. Физика почвы. Ч. 1. М.: Высшая школа, 1965. 257 с.
20. Агрокліматичний довідник по Автономній Республіці Крим (1986-2005 рр.): Довідкове видання // За ред. О.І. Прудка та Т.І. Адаменко. Сімферополь: ЦГМ в АРК, 2011. 344 с.

References

1. Lebedeva I. I., Koroleva I. E., Grebennikov A. M. The concept of evolution of chernozems in agroecosystems // Byulleten Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva. 2013. Iss. 71. P. 16–26.
2. Levykin S. V., Chibilev A. A., Gulyanov Yu. A., Kazachkov G. V., Yakovlev I. G. The current natural-anthropogenic threats to the steppe landscape stability // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 9th International Symposium “Steppes of Northern Eurasia”. Orenburg, 2021. Vol. 817. Art. No. 012059. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012059.
3. Gulyanov Yu. A. Efficiency of nature-like water-saving methods in landscape-adaptive farming systems of steppe zone of Orenburg Urals // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 3(23). P. 79–92. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-79-92.
4. Turin E. N., Zhenchenko K. G., Gongalo A. A. Prospects for the use of technology for cultivating agricultural crops without tillage in the zone of risky farming of the Republic of Crimea // Problems and prospects for innovative development of rural areas of Crimea. Monograph / Ed. by V. S. Pashtetsky. Simferopol: ARIAL, 2019. P. 207–212.
5. Mushaeva K. B. Pastures phytomelioration effectiveness in the black lands of Kalmykia // Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education 2015. No. 1 (37). P. 1–5.
6. Ignatova G. A. Phytomielorants and their application // Bulletin of Agrarian Science. 2018. No. 4(73). P. 25–28. DOI: 10.15217/issn2587-666X.2018.4.25.
7. Purtova L. N., Kostenkov N. M., Kiseleva I. V., Emelyanov A. N. The influence of phytomelioration on fertility indicators of agrogenic soils of Primorye // Modern Problems of Science and Education. 2015. No. 5. [Electronic resource]. Access point: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21671> (reference's date 16.02.2022).
8. Suyundukov Ya. T., Mirkin B. M., Abdullin M. R., Salmanova E. F., Khasanova G. R. The effect of phytomelioration on the fertility of chernozems in the Trans-Ural part of Bashkiria // Eurasian Soil Science. 2007. Vol. 40. No. 10. P. 1087–1094.
9. Prikhodko A. V., Cherkashyna A. V., Zubochenko A. A., Svyatyuk Y. V., Gongalo A. A., Pikhtereva A. V., Moreva T. B. Influence of composition species of green manure crops on soil fertility // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE 2021), Ussurijsk, 2021. Vol. 937. Iss. 3. Art. No. 032022. DOI: 10.1088/1755-1315/937/3/032022.
10. Tsapko Yu. L., Ohorodnia A. I. Optimization of fertility indices of podzolic soils via cultivation of phytomeliorants // Agricultural Science and Practice. 2018. Vol. 5. Iss. 1. P. 42–50. DOI: 10.15407/agrisp5.01.042.
11. Rani K., Sharma P., Kumar S., Wati L., Kumar R., Gurjar D. S., Kumar D., Kumar R. Legumes for sustainable soil and crop management // Sustainable Management of Soil and Environment. 2019. P. 193–215. DOI: 10.1007/978-981-13-8832-3_6.
12. Jin X., Zhang J., Shi Y., Wu F., Zhou X. Green manures of Indian mustard and wild rocket enhance cucumber resistance to Fusarium wilt through modulating rhizosphere bacterial community composition // Plant and Soil. 2019. Vol. 441. Iss. 1-2. P. 283–300. DOI: 10.1007/s11104-019-04118-6.
13. Amede T., Legesse G., Agegnehu G., Gashaw T., Degefu T., Desta G., Mekonnen K., Schulz S., Thorne P. Short term fallow and partitioning effects of green manures on wheat systems in East African highlands // Field Crops Research. 2021. Vol. 269. Art. No. 108175. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108175.
14. Sosnina I. D. Effects of organic and mineral fertilizer on yield grain productivity of arable land and soil conservation // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2013. No. 5. P. 32–36.

15. Prikhodko A. V., Cherkashyna A. V. Productivity of green manure crops depending on hydrothermal conditions // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 144–154. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-144-154.

16. Prikhodko A. V., Karaeva N. V., Zubochenko A. A. Ways to use green mass of winter triticale as fertilizer in the Steppe Crimea // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 4(24). P. 161–170. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-161-170.

17. Polovitsky I. Ya. Gusev P. G. Soils of the Crimea and increasing their fertility. Simferopol: Tauria, 1987. 152 p.

18. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alliance, 2014. 351 p.

19. Kachinsky N. A. Soil Physics. Part 1. Moscow: Vysshaya shkola, 1965. 257 p.

20. Agrarian climatic handbook of the Autonomous Republic of Crimea (1986–2005) // Ed. by Prudko A. I., Adamenko T. I. Simferopol: Central hydrometeorology in the Autonomous Republic of Crimea, 2011. 344 p.

UDC 631.586:631.6:631.874

Prikhodko A. V., Cherkashyna A. V., Karaeva N. V.

INFLUENCE OF PHYTOMELIORANTS ON FERTILITY INDICATORS OF CHERNOZEMS SOUTHERN

Summary. *Phytomelioration is a way to improve soils with the help of plants. It is one of the nature-like ways to improve physical and chemical properties of soils and increase their fertility. The aim of the research was to evaluate the effect of various phytomeliorants on the fertility of chernozems southern. The studies were carried out in 2016–2019 in the Field Crops Department – structural unit of FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. In a one-factor experiment, eight variants of green-manured fallows were studied. The following crops were sown: winter Triticale aestivumforme, winter Secale cereale L., winter Vicia pannonica, mixture of the aforementioned crops, Melilotus officinalis Mill., Trifolium pratense L., Onobrychis arenaria (Kit. ex Willd.) DC, Phacelia tanacetifolia Bent. Position of the variants – systematic, triple replication. Fields square – 720 m². Mathematical data processing was carried out using B. A. Dospekhov “Methods of field research”. The yield of aboveground phytomass of the studied agrocenoses was, on average, 21.9 t/ha; the yield of dry matter – 4.87 t/ha. The content of soil organic matter (according to Tyurin in the modification of CINAО, GOST (State Standard) 26213-91) before winter wheat sowing did not depend on the species composition of phytomeliorants and amounted to 2.4–2.6 %. The maximum amount of NO₃ (GOST 26951-86) in the root layer was after perennial legumes, namely sainfoin (2.28 mg/100 g of soil) and sweet clover (1.95 mg/100 g of soil), incorporation. The highest content of mobile phosphorus (according to Machigin in the modification of CINAО, GOST 26205-91) – 3.27 mg/100 g of soil and potassium (GOST 26205-91) – 32.7 mg/100 g of soil was noted after phacelia. Phytomeliorants had significant effect on soil density in the root layer. Before winter wheat sowing, this indicator in the 0–10 cm layer after all crops, except for phacelia (1.17 g/cm³), was in the range of 0.99–1.09, i.e., below the optimum (1.15 g/cm³). In the central steppe of Crimea, on the chernozems southern, the selection of crops-phytomeliorants should depend on the agrochemical and agrophysical characteristics of the soil, as well as on the crop rotation.*

Keywords: soil, phytomeliorants, green manuring, agrocenosis, soil fertility, soil density.

Приходько Александр Валентинович, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: prihodko_a@niishk.ru.

Черкашина Анна Владимировна, научный сотрудник лаборатории земледелия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: cherkashyna_a@niishk.ru.

Караева Наталья Викторовна, младший научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: karaeva_n@niishk.ru.

Prihodko Aleksandr Valentinovich, senior researcher of the Laboratory of agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: prihodko_a@niishk.ru.

Cherkashyna Anna Vladimirovna, researcher of the Laboratory of agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: cherkashyna_a@niishk.ru.

Karaeva Natalya Viktorovna, junior researcher of the Laboratory of agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: karaeva_n@niishk.ru.

Дата поступления в редакцию – 29.03.2022.

Дата принятия к печати – 01.05.2022.

УДК 631.31
EDN ZSPOES

Соболевский И. В.¹, Москалевич В. Ю.², Калафатов И. И.¹
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
СТЕРНЕВОГО КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ
ПОЧВЫ**

¹ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»;

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»

Реферат. Рабочие органы стерневого культиватора содержат упругую S-образную стойку, на которой расположен ударник, долото, режущая кромка которого выполнена по форме проекции головы жука-скарабея (*Scarabaeus*), а также волнистые боковые крылья, режущая кромка которых выполнена по форме зазубрин роющей ноги жука-навозника обыкновенного (*Geotrupes stercorarius*). Они предназначены для поверхностной обработки на глубину до 14–15 см стерневого фона, который остается после уборки урожая, а также для подготовки почвы перед посевом и ухода за парами в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения, подверженных совместному воздействию водной и ветровой эрозии, и могут применяться в адаптивно-ландшафтных ресурсосберегающих технологиях Mini-Till и No-Till. Цель исследований – определение энергетических показателей технологического процесса поверхностной обработки почвы рабочими органами стерневого культиватора в сравнении с серийными рабочими органами культиватора КПЭ-3,8. Исследования проведены в отделе механизации производства и разработки новых образцов оборудования (ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма») совместно с лабораторией бионической агроинженерии (ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского») в 2021–2022 гг. Лабораторные эксперименты проводили в почвенном канале при следующих свойствах почвы в обрабатываемом слое (влажность 16–19 %, твердость – 188–196 Н/см², деформационный показатель – $1,95 \times 10^{-7}$ – $3,1 \times 10^{-7}$ м²/Н). Исследовали закономерности технологического процесса рабочих органов стерневого культиватора (амплитуда и частота вибрации) в связи с энергетическими показателями поверхностной обработки почвы (тяговое сопротивление). Экспериментальный рабочий орган стерневого культиватора имеет большую частоту и амплитуду колебаний (соответственно в 1,1–1,4 раза и 2,0–6,5 раз) по сравнению с серийным аналогом – рабочим органом культиватора КПЭ-3,8. Это обеспечивает меньшее тяговое сопротивление рабочего органа стерневого культиватора при обработке почвенного пласта в среднем на 16,7–20,1 %. Наибольшее различие по тяговому сопротивлению (20 %) исследуемые рабочие органы имеют при глубине обработки почвы 5 см. В среднем тяговое сопротивление рабочих органов стерневого культиватора на 19 % меньше, чем серийного рабочего органа КПЭ-3,8.

Ключевые слова: почва, стерневой культиватор, рабочий орган, вибрация, амплитуда, частота, глубина обработки, скорость движения, тяговое сопротивление.

Для цитирования: Соболевский И. В., Москалевич В. Ю., Калафатов И. И. Определение энергетических показателей рабочих органов стерневого культиватора для поверхностной обработки почвы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 171–179. EDN: ZSPOES.

For citation: Sobolevsky I. V., Moskalevich V. Yu., Kalafatov I. I. Determination of energy indicators of working bodies of stubble cultivator for surface tillage // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 171–179. EDN: ZSPOES.

Введение

В растениеводческом комплексе Республики Крым эффективное ведение сельского хозяйства требует использования новых адаптивно-ландшафтных ресурсосберегающих технологий Mini-Till и No-Till [1]. В данных технологиях обработки почвы без оборота пласта под посев озимых и яровых зерновых культур по стерневым фонам с глубиной обработки 14–15 см наибольшее распространение получили стерневые культиваторы [2].

Анализ исследований таких ученых, как Haiyue Yu, Zhiwu Han, Junqiu Zhang, Shuaijun Zhang школы мехатроники Чанчуньского технологического университета, а также лаборатории бионической инженерии Министерства образования Цзилиньского университета показывают, что применение бионических конструкций рабочих органов для рыхления почвы на основе изучения форм поверхности тел животных приводит к значительному снижению тягового сопротивления. Роющие конечности некоторых животных обладают высокой способностью рыхлить почву. Именно они выбраны в качестве биологических прототипов форм почворежущих орудий для увеличения их эффективности крошения и снижения сопротивления на основе бионического принципа подобию [4].

Разработанные инновационные рабочие органы стерневого культиватора, в обоснование параметров которого заложены два биологических прототипа: жук-скарабей (*Scarabaeus*) и жук-навозник обыкновенный (*Geotrupes stercorarius*), предназначены для обработки стерневого фона, который остается после уборки урожая, а также для подготовки почвы перед посевом и ухода за парами [5, 6].

Рабочие органы стерневого культиватора содержат упругую С-образную стойку, на которой расположен ударник, долото, режущая кромка которого выполнена по форме проекции головы жука-скарабея, а также волнистые боковые крылья, режущая кромка которых выполнена по форме зазубрин роющей ноги жука-навозника обыкновенного [7, 8]. В качестве их прототипа были выбраны рабочие органы серийного культиватора КПЭ-3,8, где основным недостатком, при увеличении нагрузки, был частый уход стойки в сторону от плоскости начального рыхления, что приводило к сильному уменьшению качества подрезания стерни [9, 10].

Цель исследований – определение энергетических показателей технологического процесса поверхностной обработки почвы рабочими органами стерневого культиватора в сравнении с серийными рабочими органами культиватора КПЭ-3,8.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в отделе механизации производства и разработки новых образцов оборудования ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» совместно с лабораторией бионической агроинженерии ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» в 2021–2022 гг. Объект исследования – технологический процесс поверхностной обработки почвы рабочими органами стерневого-культиватора. Предмет исследования – закономерности технологического процесса рабочих органов стерневого культиватора в связи с энергетическими показателями поверхностной обработки почвы.

Испытания проводили в соответствии с ГОСТ 33687-2015 «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний».

Место проведения испытаний – почвенный канал прямоугольной формы с размерами поперечного сечения 2500×2000 мм. Состав почвы в канале соответствует основному типу почвы в Крымском регионе – чернозему южному. По краям канала расположены рельсы, по которым перемещается тележка с исследуемыми рабочими органами. Движение тележки осуществляется лебедкой с приводом от

электродвигателя с фазным ротором через коробку переменных передач. Испытуемые рабочие органы стерневого культиватора по бионическому подобию крепятся к подвижной раме тележки специальными хомутами. Скорость перемещения тележки может варьировать путем переключения передач, а также с помощью изменения электрического сопротивления в цепи обмотки ротора за счёт жидкостного реостата.

Подвижная рама тележки оборудована специальными направляющими и винтами с двух сторон. С помощью данных винтов осуществляется регулировка глубины хода рабочих органов в почве при проведении испытаний.

Для создания требуемой плотности исследуемого пласта почвы в почвенном канале применяется её прикатывание водоналивным катком. Перед проведением экспериментов почва увлажняется специальным приспособлением до требуемой влажности.

Перед проведением каждого опыта определяли свойства почвенного пласта – влажность, твердость и деформационный показатель. Влажность почвы определяли влагомером почвы TR модель 46908 (рисунок 1, а), твердость и деформационный показатель – с помощью твердомера Ю. Ю. Ревякина, где применяли штампы соответственно плоской и сферической формы (рисунок 1, б).

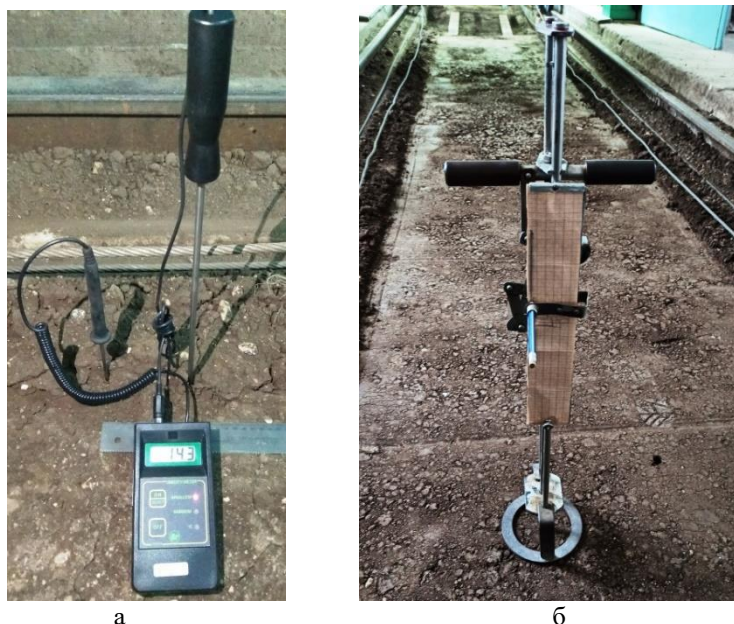


Рисунок 1 – Приборы для измерения свойства почвенного пласта

Примечание. а – влагомер почвы TR модель 46908; б – твердомер Ю.Ю. Ревякина.

Регистрацию получаемых экспериментальных значений осуществляли с помощью ноутбуков Aser MS2286 – 1 и Lenovo Ideapad 310-15 IAP – 2 с программным комплексом ZETLAB, а также анализатора спектра вибрации ZET017-U2 – 3, портативной тензостанции ZET 017-T8 – 4 и пьезоэлектрического акселерометра BC110 – 5. Значения тягового сопротивления определяли с помощью тензометрического датчика TS21-T2 – 6 (рисунок 2).

В процессе перемещения в почве исследуемого рабочего органа, закреплённого на тележке, сигналы от датчиков вибрации и тягового сопротивления передавались на анализатор спектра ZET017-U2 и тензостанцию ZET 017-T8, а далее на ноутбук с программным комплексом ZETLAB, в котором они фиксировались и обрабатывались. На дисплее ноутбука происходила визуализация данных в виде графиков.



Рисунок 2 – Приборы для регистрации полученных экспериментальных значений

Для снижения погрешностей и получения действительных значений энергетических показателей в обязательном порядке проводили тарировку тензометрического датчика TS21-T2 с помощью поверенного механического динамометра ДПУ-0,5-2 с пределами измерений от 0 до 5 кН (рисунок 3).

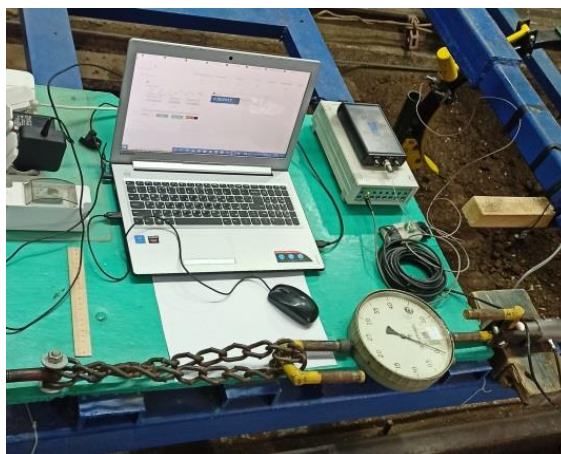


Рисунок 3 – Процесс тарировки тензометрического датчика TS21-T2

Тарировку датчика вибрации проводили путём создания вибрации стойки, на которой он закреплён, с определёнными значениями частоты и амплитуды, и фиксации соответствующей величины сигнала анализатором спектра ZET017-U2.

На рисунке 4 представлены графики тарировки тензометрического датчика TS21-T2 и датчика вибрации, которые позволяют установить соответствие между величиной сигналов от датчиков в милливольты (мВ) и действительными значениями измеряемых параметров тягового сопротивления и вибрации рабочих органов.

Для определения значений коэффициентов уравнения регрессии проведен двухфакторный эксперимент типа $N = 2^2$. В качестве варьируемых факторов использовали два показателя: глубину обработки и скорость движения. Глубина варьировала в диапазоне от 5 до 15 см, а скорость – от 0,67 до 1,33 м/с. В качестве аналога для сравнения использовали серийный рабочий орган культиватора КПЭ-3,8.

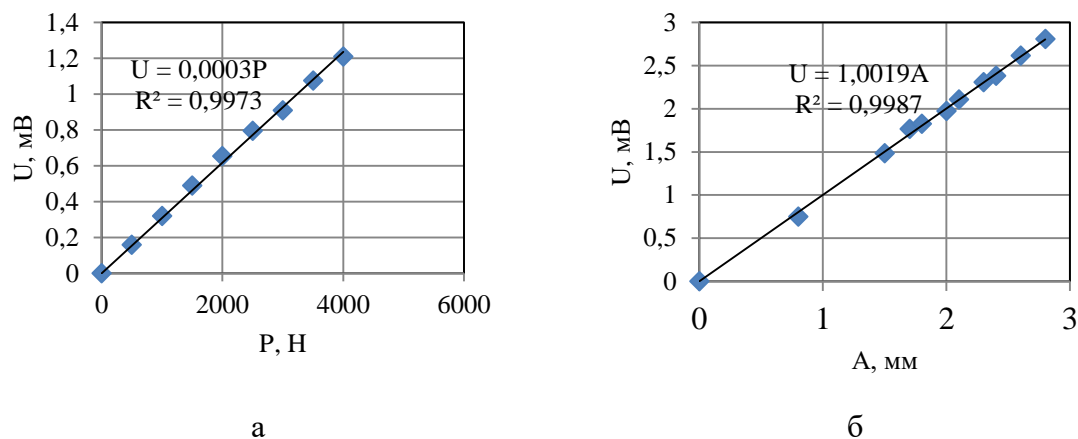


Рисунок 4 – График тарировки

Примечание. а – тензометрический датчик TS21-T2; б – датчик вибрации BC110.

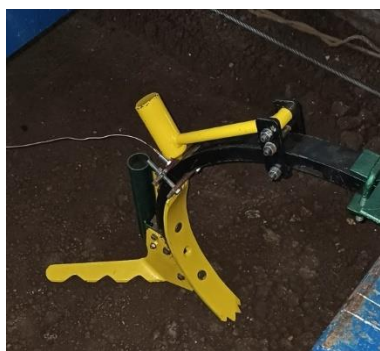
Результаты и их обсуждение

Основные не варьируемые факторы, такие как влажность W , твердость T и деформационный показатель ν почвы, представлены в таблице 1. Замеры этих значений характеризуют имитацию почвы повышенной плотности, которая формируется в процессе отсутствия длительной её обработки при образовании на её поверхности стерневого фона после прохода зерноуборочных комбайнов.

Таблица 1 – Основные не варьируемые факторы почвы

Глубина обработки h , м	Значение показателя		
	Влажность W , %	Твердость T , Н/см ²	Деформационный показатель ν , м ² /Н
0,05	16,2–19,1	188,59–196,04	$1,95 \times 10^{-7}$ – $3,2 \times 10^{-7}$
0,10	16,8–18,9	187,35–194,54	$1,95 \times 10^{-7}$ – $3,1 \times 10^{-7}$
0,15	16,4–19,0	188,34–196,12	$1,96 \times 10^{-7}$ – $3,1 \times 10^{-7}$

В ходе исследований экспериментальных рабочих органов стерневого культиватора и серийных рабочих органов культиватора КПЭ-3,8 (рисунок 5) получены значения таких показателей, как частота k и амплитуда A вибрации и тяговое сопротивление P . Данные значения представлены в таблице 2.



а



б

Рисунок 5 – Общий вид испытуемых рабочих органов

Примечание. а – экспериментальный рабочий орган; б – серийный рабочий орган культиватора КПЭ-3,8.

Таблица 2 – Результаты исследования параметров вибрации и тягового сопротивления серийного рабочего органа КПЭ-3,8 и экспериментального рабочего органа (скорость 1,33 м/с)

Наименование показателя	Значение показателя						Повышение интенсивности вибрации рабочего органа в сравнении с серийным, раз		Снижение тягового сопротивления экспериментального рабочего органа в сравнении с серийным, %
	Серийный рабочий орган КПЭ-3,8			Экспериментальный рабочий орган					
Глубина обработки почвы h , м	Частота вибрации k , Гц	Амплитуда вибрации A , мм	Тяговое сопротивление P , Н	Частота вибрации k , Гц	Амплитуда вибрации A , мм	Тяговое сопротивление P , Н	по частоте	по амплитуде	
0,05	376	0,37	847,45	520	2,44	676,61	1,38	6,59	20,15
0,10	372	0,17	1039,4	417	0,51	842,59	1,12	3,00	18,93
0,15	358	0,23	1286,53	393	0,46	1071,90	1,10	2,00	16,68

После проведения экспериментальных проходов и обработки данных с помощью программы Microsoft Excel построены графики зависимости тягового сопротивления от глубины обработки, а также частоты колебаний от глубины обработки (рисунки 6, 7).

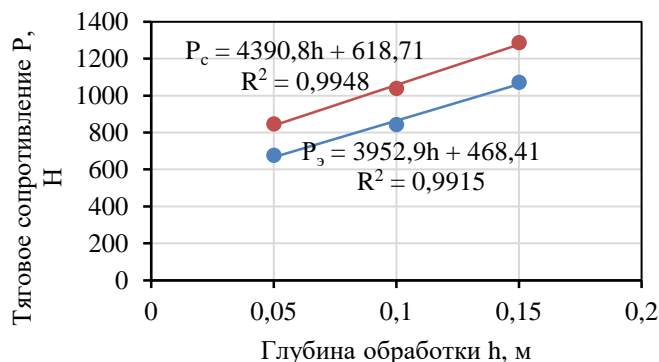


Рисунок 6 – График зависимости тягового сопротивления P от глубины обработки h при скорости движения $V = 1,33$ м/с

Примечание. Здесь и далее: $P_э$ – экспериментальный рабочий орган; P_c – серийный рабочий орган культиватора КПЭ-3,8.

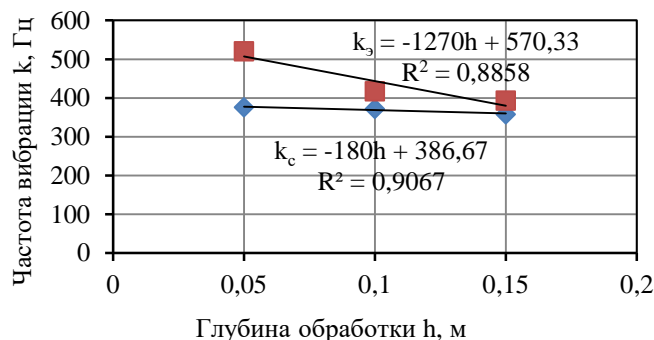


Рисунок 7 – График зависимости частоты колебаний k от глубины обработки h при скорости движения $V = 1,33$ м/с

Из таблицы 2 и графиков на рисунках 6 и 7 видно, что исследуемый нами экспериментальный рабочий орган стерневого культиватора имеет большую частоту и амплитуду колебаний, соответственно в 1,1–1,4 раза и 2,0–6,5 раз по сравнению с серийным аналогом. Это обеспечивает меньшее тяговое сопротивление рабочего органа стерневого культиватора при обработке почвенного пласта в среднем на 16,7–20,1 %.

Полученные в процессе проведения экспериментов уравнения регрессии в кодированных переменных имеют вид:

– для экспериментального рабочего органа стерневого культиватора:

$$Y_Э = 811,88 + 176,86X_1 + 62,47X_2 + 20,79X_1X_2; \quad (1)$$

– для серийного рабочего органа КПЭ-3,8:

$$Y_С = 986,02 + 212,41X_1 + 80,97X_2 + 7,13X_1X_2. \quad (2)$$

Оценка значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента показала, что для уравнения (1) значимыми являются коэффициенты, удовлетворяющие условию $|b_i| \geq 59,41$, а для уравнения (2) – соответственно $|b_i| \geq 48,78$.

При проверке полученных математических моделей (1) и (2) по критерию Кохрена его расчетное значение G_p оказалось меньше табличного $G_T = 0,76$ и составило, соответственно, 0,54 и 0,43, а это означает воспроизводимость полученных результатов.

Проверка математических моделей (1) и (2) по критерию Фишера подтвердила их адекватность, поскольку расчетные значения F_p составили, соответственно, 0,95 и 0,17, что меньше табличного значения $F_T = 7,71$.

Уравнения регрессии в натуральных значениях переменных, с учётом оценки значимости коэффициентов, имеют вид:

– для экспериментального рабочего органа стерневого культиватора:

$$P_Э = 255,77 + 3537,2h + 202,29v; \quad (3)$$

– для серийного рабочего органа КПЭ-3,8:

$$P_С = 318,29 + 4248,2h + 242,91v. \quad (4)$$

Проанализировав полученные уравнения регрессии (1), (2), (3), (4) и их коэффициенты, можно сделать вывод, что с увеличением глубины и скорости обработки почвы тяговое сопротивление исследуемых рабочих органов возрастает. При этом глубина обработки оказывает более существенное влияние по сравнению со скоростью. Из полученных уравнений регрессии и построенных графиков видно, что тяговое сопротивление рабочих органов стерневого культиватора с увеличением глубины и скорости обработки почвы растёт менее интенсивно по сравнению с серийным рабочим органом КПЭ-3,8, что объясняется более интенсивной вибрацией первого. Наибольшее различие по тяговому сопротивлению (20 %) исследуемые рабочие органы имеют при глубине обработки почвы 5 см. В среднем тяговое сопротивление рабочих органов стерневого культиватора на 19 % меньше, чем серийного рабочего органа КПЭ-3,8.

Выводы

При глубине обработки почвы от 0,05 до 0,15 м при её влажности 16–19 %, твердости 188–196 Н/см², деформационном показателе $1,95 \times 10^{-7}$ – $3,1 \times 10^{-7}$ м²/Н получены зависимости в виде уравнений регрессии тягового сопротивления от глубины обработки и скорости движения рабочих органов стерневого культиватора и серийного его аналога КПЭ-3,8. С увеличением глубины и скорости обработки почвы тяговое сопротивление исследуемых рабочих органов возрастает. При этом глубина обработки оказывает более существенное влияние по сравнению со скоростью. Экспериментальный рабочий орган стерневого культиватора имеет большую частоту и амплитуду колебаний,

соответственно в 1,1–1,4 раза и 2,0–6,5 раз по сравнению с серийным аналогом – рабочим органом культиватора КПЭ-3,8. Это обеспечивает меньшее тяговое сопротивление рабочего органа стерневого культиватора при обработке почвенного пласта в среднем на 16,7–20,1 %. Наибольшее различие по тяговому сопротивлению (20 %) исследуемые рабочие органы имеют при глубине обработки почвы 5 см. В среднем тяговое сопротивление рабочих органов стерневого культиватора на 19 % меньше, чем серийного рабочего органа КПЭ-3,8.

Литература

1. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В. Бионическое обоснование конструкции упругих рабочих органов культиватора-плоскореза // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2016. № 6 (169). С. 50–59.
2. Guo Z., Zhou Z., Ren L. 2D finite element analysis for the cutting performance of bionic curved cutting tools // Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2003. No. 9 P. 106–109. DOI: 10.3901/JME.2003.09.106.
3. Zhang Z., Wang X., Tong J., Carr S. Innovative design and performance evaluation of bionic imprinting toothed wheel // Appl. Bionics Biomechanics. 2018. Art. No. 9806287. DOI: 10.1155/2018/9806287.
4. Yu H., Han Z., Zhang J., Zhang S. Bionic design of tools in cutting: reducing adhesion, abrasion or friction // Wear. 2021. Vol. 482–483. P. 203955. DOI: 10.1016/j.wear.2021.203955.
5. Smith D. R., Warnemuende-Pappas E. A. Vertical tillage impacts on water quality derived from rainfall simulations // Soil Tillage Res. 2015. Vol. 153. P. 155–160. DOI: 10.1016/j.still.2015.04.004.
6. Верняев О. В. Активные рабочие органы культиваторов. М.: Машиностроение, 1983. 79 с.
7. Дубровский А. А. Вибрационная техника в сельском хозяйстве. М.: Машиностроение, 1968. 126 с.
8. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Methodology for designing tillage working bodies of a stubble cultivator-flat-cutter based on agricultural biomechanics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions (AEGIS 2021). Tashkent, 2021. Vol. 868. Iss. 1. Art. No. 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/868/1/012007.
9. Полищук Д. Ф., Девятериков С. А. Прикладные теории удара. Удар в пружинных механизмах. М.: Институт компьютерных исследований, 2006. 124 с.
10. Патент РФ № 204976. Рабочий орган стерневого культиватора // Авторы: Соболевский И. В., Бабицкий Л. Ф., Паштецкий В. С., Анюхин В. Е., Макалиш А. М., Калафатов И. И. Правообладатель: ФНБУН «НИИСХ Крыма». заявл. 05.03.2021; опубли. 11.06.2021. Бюл. № 17. 9 с.

References

1. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V. Bionic design justification of resilient working bodies of the flat cut cultivator // Transactions of Taurida Agricultural Science. 2016. No. 6. P. 50–59.
2. Guo Z., Zhou Z., Ren L. 2D finite element analysis for the cutting performance of bionic curved cutting tools // Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2003. No. 9 P. 106–109. DOI: 10.3901/JME.2003.09.106.
3. Zhang Z., Wang X., Tong J., Carr S. Innovative design and performance evaluation of bionic imprinting toothed wheel // Appl. Bionics Biomechanics. 2018. Art. No. 9806287. DOI: 10.1155/2018/9806287.
4. Yu H., Han Z., Zhang J., Zhang S. Bionic design of tools in cutting: reducing adhesion, abrasion or friction // Wear. 2021. Vol. 482–483. P. 203955. DOI: 10.1016/j.wear.2021.203955.
5. Smith D. R., Warnemuende-Pappas E. A. Vertical tillage impacts on water quality derived from rainfall simulations // Soil Tillage Res. 2015. Vol. 153. P. 155–160. DOI: 10.1016/j.still.2015.04.004.
6. Vernyaev O. V. Active working bodies of cultivators. Moscow: Mashinostroenie, 1983. 79 p.
7. Dubrovsky A. A. Vibration technique in agriculture. Moscow: Mashinostroenie, 1968. 126 p.
8. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Methodology for designing tillage working bodies of a stubble cultivator-flat-cutter based on agricultural biomechanics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions (AEGIS 2021). Tashkent, 2021. Vol. 868. Iss. 1. Art. No. 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/868/1/012007.
9. Polishchuk D. F., Devyaterikov S. A. Applied theories of impact. Impact in spring mechanisms. Moscow: Institute of Computer Research, 2006. 124 p.
10. Patent of the Russian Federation No. 204976. Working body of the stubble cultivator // Authors: Sobolevsky I. V., Babitsky L. F., Pashtetsky V.S., Anyukhin V.E., Makalish A.M., Kalafatov I.I. Patent owner: Research Institute of Agriculture of Crimea. application date: March 5, 2021; published: June 11, 2021. Bull. No. 17. 9 p.

UDC 631.31

Sobolevsky I. V., Moskalevich V. Yu., Kalafatov I. I.

DETERMINATION OF ENERGY INDICATORS OF WORKING BODIES OF STUBBLE CULTIVATOR FOR SURFACE TILLAGE

Summary. *The working bodies of the stubble cultivator contain an elastic C-shaped post, on which there is a hammer, a bit (the cutting edge is made in the form of a projection of the scarab beetle head (Scarabaeus)), as well as wavy side wings (the cutting edge is made in the form of notches of the burrowing leg of the dung beetle (Geotrupes stercorarius)). They are designed for surface tillage of stubble, that is left after harvesting, to a depth of 14-15 cm, as well as for soil preparation before sowing and care for bare fallow in areas of insufficient and unstable moisture exposed to combined water and wind erosion. These working bodies can be applied in adaptive landscape resource-saving Mini-Till and No-Till technologies. The purpose of the study was to determine energy indicators of the technological process of soil surface tillage by working bodies of a stubble cultivator in comparison with serial working bodies of cultivator KPE-3.8. The research was carried out at the Department of Mechanization of Production and Development of New Types of Equipment (FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”) together with the Laboratory of Bionic Agroengineering (FSAEI HE “V.I. Vernadsky Crimean Federal University”) in 2021–2022. Laboratory experiments were conducted in the soil channel. Soil properties: moisture – 16–19%, hardness – 188-196 N/cm², deformation index – $1.95 \cdot 10^{-7} - 3.1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{N}$. The regularities of the technological process of the working bodies of the stubble cultivator (amplitude and frequency of vibration) were studied in connection with the energy indicators of surface tillage (traction resistance). Experimental working bodies of stubble cultivator had higher frequency (by 1.1–1.4 times) and amplitude of oscillations (by 2-6.5 times) compared to serial analogue – cultivator KPE-3.8 working bodies. This ensures lower traction resistance (on average by 16.7–20.1 %) of the working bodies of the stubble cultivator in the process of soil layer tillage. Studied working bodies had the greatest difference in traction resistance (20 %) on the depth of 5 cm. On average, the traction resistance of the working bodies of the stubble cultivator was 19 % less than that of the serial KPE-3.8 working body.*

Keywords: *soil, stubble cultivator, working body, vibration, amplitude, frequency, depth of tillage, speed of movement, traction resistance.*

Соболевский Иван Витальевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий отделом механизации производства и разработки новых образцов техники, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail sobolevskii-ivan@mail.ru.

Москалевич Вадим Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технические системы в агробизнесе», Институт «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И.Вернадского», 295492, Россия, г. Симферополь, п. Аграрное, e-mail: v_moskalevich@mail.ru.

Калафатов Ильяс Идрисович, инженер-конструктор отдела механизации производства и разработки новых образцов техники, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ikalafatov@mail.ru.

Sobolevsky Ivan Vitalievich, Cand. Sc. (Techn.), associate professor, head of the Department of mechanization of production and development of new types of equipment, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: sobolevskii-ivan@mail.ru.

Moskalevich Vadim Yurievich, Cand. Sc. (Techn.), associate professor professor of the Department of technical systems in agribusiness, Agrotechnological Academy (structural unit) of V.I. Vernadsky Crimean Federal University; village of Agrarnoe, Simferopol, 295492, Russia; e-mail: v_moskalevich@mail.ru.

Kalafatov Ilyas Idrisovich, design engineer of the Department of mechanization of production and development of new types of equipment, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: ikalafatov@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 10.05.2022.

Дата принятия к печати – 11.06.2022.

УДК 631.527.549:633.11

EDN DZIWCX

Соколенко Н. И., Галушко Н. А.

МНОГОЛЕТНИЕ ПШЕНИЧНО-РЖАНО-ПЫРЕЙНЫЕ ГИБРИДЫ КАК ИСТОЧНИКИ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА ЗЕРНА В СЕЛЕКЦИИ ПШЕНИЦЫ

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»

Реферат. Генетическое разнообразие среди колосовых культур является перспективным источником исходного материала в селекции пшеницы на качество зерна. Цель исследования – оценка многолетних пшенично-ржано-пырейных гибридов по хозяйственно ценным признакам, выделение среди них клонов с высокими технологическими показателями зерна для использования в селекции мягкой озимой пшеницы. Исследования проводили в ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» в 2016–2019 гг. в зоне с неустойчивым увлажнением по чистому пару, на черноземе обыкновенном среднесуглинистом. Материалом для исследований послужила коллекция (246 образцов) клонов многолетних пшенично-ржано-пырейных гибридов (ПРПГ) А. И. Державина. Коллекция клонов ПРПГ представлена позднеспелыми высокорослыми (128–153 см) формами. Фаза колошения и фаза созревания зерна в разные годы наступает у гибридов на две–три недели позже, чем у мягкой озимой пшеницы в наших условиях. По морфологическим признакам колоса среди ПРПГ выделено четыре основных морфотипа гибридов: пырейный, пырейно-промежуточный, промежуточный и пшенично-промежуточный. Количество зерен в колосе у разных клонов в среднем составило 13–40 штук. Зерно было мелким, с массой 1000 зерен 11,3–17,5 г. Зерно ПРПГ разных клонов независимо от условий выращивания содержало высокое количество клейковины – 39,8–57,2 % и белка – 16,6–23,8 %. Между количеством зерен в колосе и содержанием клейковины и белка определена тесная отрицательная корреляционная связь ($r = -0,70$; $p \leq 0,05$). Наибольшее количество клейковины и белка отмечено в зерне клона 95/1 (IV морфотип), который отличается и наибольшим показателем седиментации – 60 мл. Между показателем седиментации и количеством клейковины в зерне коэффициент корреляции был средним положительным ($r = 0,53$; $p \leq 0,05$), а между показателем седиментации и массой 1000 зерен – средним отрицательным ($r = -0,61$; $p \leq 0,05$).

Ключевые слова: селекция, сорт, пшенично-ржано-пырейные гибриды, клон, качество зерна, белок, клейковина.

Для цитирования: Соколенко Н. И., Галушко Н. А. Многолетние пшенично-ржано-пырейные гибриды как источники высокого качества зерна в селекции пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 180–187. EDN: DZIWCX.

For citation: Sokolenko N. I., Galushko N. A. Perennial wheat-rye-wheatgrass hybrids as sources of high grain quality in wheat breeding // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 180–187. EDN: DZIWCX.

Введение

Озимая мягкая пшеница вносит существенный вклад в сбор зерна в Российской Федерации, являясь важнейшей продовольственной культурой. Поэтому качеству зерна предъявляют определенные требования по таким показателям как содержание белка и клейковины [1].

Многолетний опыт изучения сортообразцов мировой коллекции в наших условиях показывает, что большая часть генотипов формирует зерно по содержанию белка и клейковины соответствующее ценной пшенице или филлеру и только

небольшая часть может быть отнесена к сильной пшенице. Сорты, возделываемые в крае, также различаются по технологическим показателям, наибольшее распространение имеют сильные и ценные пшеницы. Однако факторы внешней среды часто приводят к изменению генетической информации, что сказывается на качестве хлеба и хлебопекарной продукции [2]. Анализ качества зерна, собранного в Российской Федерации в 2019–2021 гг., показал, что на долю продовольственного зерна (1–4 класс) приходится 82,2–87,4% [3]. Поэтому для возделывания необходимы сорта, отличающиеся высокой адаптивностью по комплексу признаков, включая и качество зерна. В основе создания таких сортов лежит выявление перспективных генотипов и правильный их подбор для родительских пар скрещивания с учетом основополагающих принципов и правил селекции [4, 5]. Особый интерес представляют эколого-географически отдаленные генотипы, использование которых в скрещиваниях позволяет надеяться на отбор трансгрессивных форм по признакам [6]. Гарантированные трансгрессии с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков можно получить и в агроэкосистеме с регулируемым режимом выращивания [7].

Исследования показывают, что поиск генетических источников с высокими технологическими показателями зерна для использования в селекционных программах по пшенице перспективен среди различных колосовых культур мировой коллекции [8–10]. Созданные в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» многолетние пшенично-ржано-пырейные гибриды также могут быть использованы в этих же целях. Разнообразие морфотипов, выявленных нами у пшенично-ржано-пырейных гибридов, а также полученные результаты по качеству зерна свидетельствуют об актуальности их дальнейшего изучения.

Цель исследований – оценка многолетних пшенично-ржано-пырейных гибридов по хозяйственно ценным признакам, выделение среди них клонов с высокими технологическими показателями зерна для использования в селекции мягкой озимой пшеницы.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2016–2019 гг. в селекционно-семеноводческом севообороте лаборатории отдаленной гибридизации ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр».

Условия в зоне исследования считаются достаточно благоприятными для возделывания зерновых колосовых, хотя и отличаются неустойчивым увлажнением. В течение года осадки выпадают неравномерно, их количество в среднем за год составляет 559,6 мм, эффективных температур – 3177,2 °С, ГТК – 1,06. Опытный участок характеризуется черноземом обыкновенным среднесуглинистым среднемошным слабогумусированным. В пахотном слое содержится 4,3–4,5 % гумуса (ГОСТ 26213-91), 0,22 % общего азота, 19–22 мг/кг подвижного фосфора, 200–220 мг/кг калия (ГОСТ 26205-91). Реакция среды слабощелочная, рН = 7,2–7,3 (ГОСТ 27753-88), сумма обменных оснований – 35,2 мг-экв/100 г почвы (ГОСТ 27821-88).

В период проведения исследований погодные условия имели свои особенности и отличались от климатической нормы (рисунки 1, 2.).

В целом, период исследований характеризовался повышенным температурным режимом, в отдельные месяцы разница температур с климатической нормой доходила до 4,6 °С. Исключение составили осенние месяцы и начало зимы 2016 г., когда температура воздуха была ниже средне многолетних значений на 0,6–3,4 °С.

превосходило среднеголетнее значение на 89,6 и 71,6 мм, в результате компенсировался недостаток влаги в засушливые периоды, и растения не страдали от засухи. В 2018 и 2019 гг. суммарное количество осадков за год было меньше среднеголетнего уровня соответственно на 30,2 и 136,1 мм, что негативно влияло на ростовые и репродуктивные возможности растений многолетних пшенично-ржано-пырейных гибридов (ПРПГ).

Материалом для исследований послужили 246 клонов (ПРПГ), которые были получены методом отдаленной гибридизации профессором А.И. Державиным в процессе работы по селекции многолетней пшеницы. Коллекция ежегодно поддерживается в полевых условиях в виде клонов. Для закладки опыта использовали клоны, полученные от старовозрастных посевов осенью 2014 г. Клоны высаживали по предшественнику черный пар вручную на лентах длиной 1 м по схеме 30×30 см по три клона в ряд, в оптимальные для зоны сроки – первую декаду октября. В опыте защитной полосой являются первые три ряда в начале и три ряда в конце ленты, а также первый и третий клоны в каждом ряду. Учет урожая, определение его структуры осуществляли в фазе полной спелости зерна, со второго года жизни, так как в первый год жизни растениям не удается реализовать свою зерновую продуктивность. Отбор и технологическую оценку качества зерна проводили по Государственным Стандартам – 13586.3-2015, 10987-76, 54478-2011 и 10846-91. Набухание белков в слабом растворе уксусной кислоты (седиментацию) определяли по методике А. Я. Пумпянского [11]. Полученные результаты обрабатывали статистически методами дисперсионного и корреляционного анализа по Б. А. Доспехову [12].

Результаты и их обсуждение

Коллекция клонов ПРПГ представлена позднеспелыми высокорослыми (128–153 см) формами (таблица 1).

Таблица 1 – Хозяйственно-биологические особенности многолетних ПРПГ (среднее за 2016–2019 гг.)

Клон	Морфотип	Высота растений, см	Масса 1000 зерен		Общая стекловидность		Массовая доля клейковины, %	Массовая доля белка, %	Седиментация, мл
			фактическая, г	Сv по годам, %	фактическая, %	Сv по годам, %			
75/1	II	128	14,4	2	53,0	9	48,6	20,3	46
86/4	II	146	17,2	20	36,0	15	41,2	17,2	40
17/3	III	149	11,3	12	54,0	12	45,6	19,0	50
22/1	III	150	14,8	14	52,0	14	45,5	19,0	44
80/1	III	146	15,4	11	37,5	9	39,8	16,6	45
108/4	III	148	14,0	8	34,5	14	45,1	18,8	57
110/1	III	142	15,8	6	32,0	39	52,7	22,0	43
74/2	IV	130	15,3	12	40,5	26	49,5	20,6	46
81/4	IV	153	17,5	7	31,0	12	42,3	17,6	44
84/1	IV	149	15,9	1	21,0	34	43,0	17,9	44
93/3	IV	148	12,6	22	32,0	34	46,6	19,4	46
95/1	IV	134	13,1	3	29,0	24	57,2	23,8	60
Сv, %		6	12	-	27	-	11	11	12
НСР ₀₅		14	2,4	-	3,6	-	3,4	2,6	6

Относительно мягкой пшеницы прохождение фаз развития у гибридов задерживается в разные годы на 2–3 недели, что важно учитывать при подборе клонов и сортов пшеницы для скрещиваний. Клоны характеризуются интенсивным побегообразованием, однако не все побеги формируют продуктивные колосья.

Исследования показали, что больше всего побегов формируется на второй год жизни (2016 г.), из них продуктивные побеги у разных клонов составляли 61–146 штук, непродуктивные – от 0 до 38 штук. Наибольшей степенью побегообразования отличались два клона – 75/1 и 80/1, сформировавших соответственно 133 и 146 продуктивных побегов.

По морфологическим признакам колоса коллекция ПРПГ представлена разнообразием типов, которые были сгруппированы в четыре основных типа гибридов: пырейный, пырейно-промежуточный, промежуточный и пшенично-промежуточный (рисунок 3).

Основная часть изучаемых гибридов относилась к промежуточному и пшенично-промежуточному типу. По строению колоса и особенно зерна эти морфотипы имели сходство с мягкой озимой пшеницей. Все ПРПГ отличались длинным рыхлым колосом с грубыми колосковыми чешуями, затрудняющими обмолот колоса. Количество зерен в колосе у разных клонов в среднем составило 13–40 шт. и характеризовалось мелкими размерами. По количеству зерен в колосе выделился клон 93/3 (IV морфотип), который превзошел другие клоны по озерненности колоса на 10–27 зерен. В среднем за четыре года масса 1000 зерен варьировала по клонам от 11,3 г (III морфотип) до 17,5 г (IV морфотип). При этом в пределах разных морфотипов было отмечено зерно разных размеров. По годам варьирование массы 1000 зерен у клонов (Cv) составило 1–22 %. Значительная изменчивость массы 1000 зерен (Cv = 22 %) отмечена только у одного клона 93/3 (IV морфотип), у других клонов разных морфотипов она была незначительной (до 10 %) или средней (до 20 %).



Рисунок 3 – Морфологические особенности разных типов колоса многолетних ПРПГ: I – пырейный, II – пырейно-промежуточный, III – промежуточный, IV – пшенично-промежуточный

Зерно ПРПГ отличалось в основном средней стекловидностью, по клонам она составила 21–54 %. Наибольшая стекловидность зерна отмечена у трех клонов: 22/1 (52 %, III морфотип), 75/1 (53 %, II морфотип), 17/3 (54 %, III морфотип). Варьирование стекловидности зерна по годам (Cv) было в основном средним или значительным. Незначительную изменчивость стекловидности зерна по годам (Cv = 9 %) наблюдали у клонов 75/1 (II морфотип) и 80/1 (III морфотип). Таким образом, клон 75/1 отличается стабильно высокой стекловидностью зерна, превосходит клон 80/1 по общей стекловидности зерна на 15,5 %, а клон 22/1 и 17/3 – по степени варьирования общей стекловидности по годам на 5 и 3 % соответственно.

Независимо от условий выращивания, зерно ПРПГ в разные годы отличалось высоким содержанием клейковины, которое варьировало по клонам от 39,8 до 57,2 %, и высоким содержанием белка – 16,6–23,8 %, что согласуется с нашими предыдущими исследованиями 2016–2017 гг. [9]. Наибольшее их количество отмечено в зерне клона 95/1 (IV морфотип). Клон имел хорошее побегообразование, однако озерненность колосьев и масса 1000 зерен была самой низкой в опыте и составила соответственно 13 зерен и 13,1 г. Корреляционный анализ показал наличие тесной отрицательной связи между количеством зерен в колосе и содержанием клейковины и белка в зерне ($r = -0,70$; $p \leq 0,05$).

Перспективным показателем оценки качества зерна является седиментация [13]. Показатели седиментации зерна в наших исследованиях варьировали от 40 до 60 мл, что соответствует ценной или сильной по качеству мягкой озимой пшенице. Наибольшие значения получены у клонов – 17/3 (50 мл, III морфотип), 108/4 (57 мл, III морфотип) и 95/1 (60 мл, IV морфотип).

Расчеты показали, что между показателем седиментации и количеством клейковины в зерне имеется средняя положительная корреляционная связь ($r = 0,53$; $p \leq 0,05$), а между показателем седиментации и массой 1000 зерен – средняя отрицательная корреляционная связь ($r = -0,61$; $p \leq 0,05$).

Выводы

Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования пшенично-ржано-пырейных гибридов в селекции пшеницы на качество зерна. Независимо от условий выращивания, зерно ПРПГ отличается высоким содержанием клейковины – 39,8–57,2 % и высоким содержанием белка – 16,6–23,8 %. Между количеством зерен в колосе и содержанием клейковины и белка в нем существует тесная отрицательная корреляционная связь ($r = -0,70$).

Перспективность ПРПГ как исходного материала в селекции пшеницы на качество зерна подтверждают и показатели седиментации зерна (40–60 мл), которые соответствуют ценной или сильной по качеству мягкой озимой пшенице. Между показателем седиментации и количеством клейковины в зерне имеется средняя положительная корреляционная связь ($r = 0,53$), а между показателем седиментации и массой 1000 зерен – средняя отрицательная корреляционная связь ($r = -0,61$).

Лучшими образцами по комплексу технологических показателей зерна и их стабильности являются следующие клоны: 75/1, 17/3, 22/1, 80/1, 108/4, 81/4.

Литература

1. Давидянц Э. С., Ерошенко Ф. В. Состояние, тенденции и пути оптимизации производства качественного зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае // Достижения науки и техники АПК. 2017. № 6. С. 21–26.
2. Хлесткина Е. К., Журавлева Е. В., Пшеничникова Т. А., Усенко Н. И., Морозова Е. В., Осипова С. В., Пермякова М. Д., Афонников Д. А., Отмахова Ю. С. Реализация генетического потенциала сортов мягкой пшеницы под влиянием внешних условий среды: современные возможности улучшения качества хлеба и хлебопекарной продукции // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 501–514. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.501rus.
3. Анализ качества зерна нового урожая от 8 ноября 2021 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fczerma.ru/analytics/analiz-kachestva-zerna-novogo-urozhaya/> (дата обращения: 06.06.2022).
4. Мережко А. Ф. Проблемы доноров в селекции растений. Санкт-Петербург: ВИР, 1994. 126 с.
5. Кубарев П. И. Принципы и правила селекции // Биологические резервы повышения урожайности колосовых культур: сборник научных трудов Мироновского НИИССП им. Ремесло. Мироновка: НИИССП, 1989. С. 30–38.
6. Фоменко М. А., Грабовец А. И., Олейникова Т. А., Железняк Е. А. Особенности трансгрессивной селекции озимой пшеницы в условиях засух // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 5. С. 28–32. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10504.
7. Кочетов А. А., Мирская Г. В., Синявина Н. Г., Егорова К. В. Трансгрессивная селекция: методология ускоренного получения новых форм растений с прогнозируемым комплексом хозяйственно

ценных признаков // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 6. С. 29–37. DOI: 10.31857/S2500262721060065.

8. Новосельская-Драгович А. Ю., Беспалова Л. А., Шишкина А. А., Мельник В. А., Упелник В. П., Фисенко А. В., Дедова Л. В., Кудрявцев А. М. Изучение генетического разнообразия сортов мягкой озимой пшеницы по глиадинкодирующим локусам // Генетика. 2015. Т. 51. № 3. С. 324–333. DOI: 10.7868/50016675815030108.

9. Митрофанова О. П., Хакимова А. Г. Новые генетические ресурсы в селекции пшеницы на увеличение содержания белка в зерне // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20. № 4. С. 545–554. DOI: 10.18699/VJ16.177.

10. Соколенко Н. И., Комаров Н. М., Галушко Н. А., Дубина В. В. Источники высокого качества зерна в селекции мягкой озимой пшеницы и тритикале // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 11. С. 33–36. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11108.

11. Показатель седиментации и его роль в экспертизе качества зерна: метод. указания // Сост.: Казарцева А. Т., Сокол Н. В., Влащик Л. Г. Краснодар: ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», 2010. 15 с.

12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Пятое издание, переработанное и дополненное. М.: Альянс, 2014. 351 с.

13. Невзетаев В. П., Лютенко О. В., Пащенко Л. С., Попкова И. И. Оценка качества зерна мягкой пшеницы SDS-седиментацией // Сельскохозяйственная биология. 2010. № 3. С. 63–70.

References

1. Davidyants E. S., Eroshenko F. V. Current state, trends and ways for production optimization of high-quality grain of winter wheat in Stavropol Krai // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2017. No. 6. P. 21–26.

2. Khlestkina E. K., Zhuravleva E. V., Pshenichnikova T. A., Usenko N. I., Morozova E. V., Osipova S. V., Permyakova M. D., Afonnikov D. A., Otmakhova Yu. S. Modern opportunities for improving quality of bakery products via realizing the bread wheat genetic potential-by-environment interactions (review) // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural biology]. 2017. Vol. 52. No. 3. P. 501–514. DOI: 10.15389/agrobiology. 2017.3.501rus.

3. Analysis of the quality of grain of the new harvest from November 8, 2021 [Electronic resource]. Access point: <http://www.fczerna.ru/analytics/analiz-kachestva-zerna-novogo-urozhaya/> (reference's date 06.06.2022).

4. Merezhko A. F. Problems of donors in plant breeding. St. Petersburg: VIR, 1994. 126 p.

5. Kubarev P. I. Principles and rules of breeding // Biological reserves of increasing the yield of ear crops: collection of scientific works of Mironovsky Research Institute of Wheat Breeding and Seed Production named after V.N. Remeslo. Mironovka: Research Institute of Wheat Breeding and Seed Production, 1989. P. 30–38.

6. Fomenko M. A., Grabovets A. I., Oleinikova T. A., Zheleznyak E. A. Features of transgressive breeding of winter wheat under drought conditions // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2021. Vol. 35. No. 5. P. 28–32. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10504.

7. Kochetov A. A., Mirskaya G. V., Sinyavina N. G., Egorova K. V. Transgressive breeding: a methodology of accelerated creating of new forms of plants with a predictable complex of economically valuable traits // Russian Agricultural Science. 2021. No. 6. P. 29–37. DOI: 10.31857/S2500262721060065.

8. Novoselskaya-Dragovich A. Yu., Беспалова Л. А., Шишкин А. А., Мельник В. А., Упелник В. П., Фисенко А. В., Дедов Л. В., Кудрявцев А. М. Genetic diversity of common wheat varieties at the gliadin-coding loci // Генетика. 2015. Т. 51. № 3. С. 324–333. DOI: 10.7868/50016675815030108.

9. Mitrofanova O. P., Khakimova A. G. New genetic resources in wheat breeding for an increased grain protein content // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2016. No. 20 (4). P. 545–554. DOI: 10.18699/VJ16.177.

10. Sokolenko N. I., Komarov N. M., Galushko N. A., Dubina V.V. Sources of high grain quality in breeding of soft winter wheat and triticale // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2018. Vol. 32. No. 11. P. 33–36. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11108.

11. Sedimentation index and its role in grain quality assessment: methodological guidelines // Ed. by Kazartseva A. T., Sokol N. V., Vlaschik L. G. Krasnodar: FSEI of HPE “Kuban State Agrarian University”, 2010. 15 p.

12. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alliance, 2014. 351 p.

13. Netsvetaev V. P., Lyutenko O. V., Pashchenko L. S., Popkova I. I. Estimation of grain quality in soft wheat variants by SDS-sedimentation // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural biology]. 2010. No. 3. P. 63–70.

UDC 631.527.549:633.11

Sokolenko N. I., Galushko N. A.

PERENNIAL WHEAT-RYE-WHEATGRASS HYBRIDS AS SOURCES OF HIGH GRAIN QUALITY IN WHEAT BREEDING

Summary. Genetic diversity among ear crops is a promising source of raw material in wheat breeding for grain quality. The aim of the study was to evaluate and isolate clones of perennial wheat-rye-wheatgrass hybrids (WRWH) with high grain quality indicators for wheat breeding. The studies were conducted in FSBSI “North Caucasus Federal Agricultural Research Centre” in 2016–2019 in an area with unstable moistening on bare fallow. Soil – chernozems ordinary medium-thick low-humus medium-loamy. A collection of 246 clones of perennial wheat-rye-wheatgrass hybrids, which were obtained by A. I. Derzhavin, served as research material. The collection of WRWH clones is represented by late-maturing tall (128...153 cm) forms. In hybrids, the phases of earing and grain ripening in different years begin 2–3 weeks later than in common winter wheat under our conditions. According to the morphological characteristics of the ear, four main morphotypes of hybrids were identified: wheatgrass, wheatgrass-intermediate, intermediate and wheat-intermediate. In different clones, the average number of grains per ear was 13–40 pieces. The grain was small; 1000 grain weight reached 11.3–17.5 g. The grain of different clones, regardless of growing conditions, contained a high amount of gluten – 39.8–57.2 % and protein – 16.6–23.8 %. There is a close negative correlation between the number of grains per ear and the content of gluten and protein ($r = -0.70$; $p \leq 0.05$). The largest amount of gluten and protein was observed in the grain of clone 95/1 (IV morphotype); it also differs in the highest (60 ml) sedimentation rate. There is an average positive correlation between the sedimentation index and the amount of gluten in the grain ($r = 0.53$; $p \leq 0.05$); average negative correlation – between the sedimentation index and 1000 grain weight ($r = -0.61$; $p \leq 0.05$).

Keywords: breeding, variety, wheat-rye-wheatgrass hybrids, clone, grain quality, protein, gluten.

Соколенко Нина Ивановна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории отдаленной гибридизации ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Ставропольский край, Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: sokolenko-sniish@mail.ru.

Галушко Наталья Алексеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории качества зерна ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Ставропольский край, Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: natasotka@mail.ru.

Sokolenko Nina Ivanovna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher of the Laboratory of distant hybridization, FSBSI “North Caucasus Federal Agricultural Research Centre”; 49, Nikonov str., Mikhaylovsk, Shpakovskiy district, Stavropol Territory, 356241, Russia; e-mail: sokolenko-sniish@mail.ru.

Galushko Natalia Alekseevna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher of the Laboratory of grain quality, FSBSI “North Caucasus Federal Agricultural Research Centre”; 49, Nikonov str., Mikhaylovsk, Shpakovskiy district, Stavropol Territory, 356241, Russia; e-mail: natasotka@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 18.04.2022.

Дата принятия к печати – 25.07.2022.

УДК 579.64; 631.461; 633.1

EDN SYCQOW

Тишков Н. М.¹, Тильба В. А.¹, Махонин В. Л.¹, Якубовская А. И.², Каменева И. А.²,
Шкарупа М. В.¹

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ
ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ
ПОДСОЛНЕЧНИКА НА ЧЕРНОЗЁМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ**

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт
масличных культур имени В.С. Пустовойта»;

²ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Деградация почвенного плодородия сделала актуальной разработку приемов биологизации агротехнологий сельскохозяйственных культур, в частности подсолнечника (*Helianthus annuus* L.). Цель исследований – изучить влияние полифункциональных микробных препаратов на урожайность и качество урожая подсолнечника. Исследования проводили в 2020–2021 гг. в научном севообороте центральной экспериментальной базы ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта» (г. Краснодар). Почва опытного участка – чернозём выщелоченный слабогумусный сверхмощный тяжелосуглинистый. Площадь делянки 50,0 м², учётная площадь – 25,0 м², повторность трёхкратная. Посев проводили вручную селекционными сажалками с густотой стояния растений 40–41 тыс. шт./га. Агротехника – рекомендованная для центральной природно-климатической зоны Краснодарского края. Семена среднераннего гибрида подсолнечника Тайфун инокулировали перед посевом микробными препаратами «Фосфостим-Агро», «Биопротид-Агро», «Микробиоком-Агро» и «Флавобак-Агро», разработанными в отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». Контрольный вариант – без обработки. Опыты, учет урожая и статистическую обработку данных осуществляли общепринятыми методами. Содержание масла в семянках определяли по ГОСТ 8.596-2010, разработанном в ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК. Результаты показали эффективность исследуемых микробных препаратов в погодных условиях 2020–2021 гг. Предпосевная обработка семян гибрида подсолнечника Тайфун биопрепаратами существенно увеличила диаметр корзинки (на 0,6–0,9 см), число выполненных семян в корзинке (на 66–88 шт.) и масличность семян (0,6–1,0 %). Благодаря положительному влиянию на элементы структуры урожая микробные препараты достоверно повысили урожайность подсолнечника на 0,17–0,23 т/га (5,6–7,6 %) и сбор масла на 0,10–0,13 т/га (7,5–9,8 %).

Ключевые слова: подсолнечник (*Helianthus annuus* L.), микробные препараты, урожайность, качество, структура урожая.

Для цитирования: Тишков Н. М., Тильба В. А., Махонин В. Л., Якубовская А. И., Каменева И. А., Шкарупа М. В. Эффективность микробных препаратов полифункционального действия при возделывании подсолнечника на чернозёме выщелоченном // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 188–197. EDN: SYCQOW.

For citation: Tishkov N. M., Tilba V. A., Makhonin V. L., Yakubovskaya A. I., Kameneva I. A., Shkarupa M. V. Efficiency of microbial preparations with polyfunctional action in growing *Helianthus annuus* L. on chernozems leached // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 188–197. EDN: SYCQOW.

Введение

Технология выращивания подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) базируется на минеральной системе удобрений и применении пестицидов, чрезмерное увлечение которыми может привести к негативным последствиям: деградации почвенного плодородия, загрязнению окружающей среды, снижению качества продуктов питания и другим. Поэтому важное практическое значение приобретает биологизация земледелия. Одним из альтернативных приемов биологического земледелия является повышение эффективности растительно-микробного взаимодействия за счет интродукции с микробиологическими препаратами активных штаммов микроорганизмов.

Исследования Научно-исследовательского института сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы [1] показали, что применение микробных препаратов для инокуляции семян способствовало увеличению урожайности озимой пшеницы на 0,21–0,60 т/га, кукурузы на 0,32–0,94 т/га, ячменя на 0,24–0,31 т/га, гороха на 0,31–0,58 т/га, подсолнечника на 0,64–0,88 т/га.

В опытах ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (2012–2015 гг.) [2] выявлено, что перспективные штаммы diaзотрофных бактерий повышали продуктивность риса, прибавки урожая зерна при инокуляции семян достигали 34,8–69,6 %, причем наиболее эффективным оказался штамм *Phyllobacterium ifriqiense* б.

В работе [3] рассмотрены вопросы о роли ассоциативной азотфиксации в повышении продуктивности агроценозов, влиянии внесённых удобрений, агрохимических показателей плодородия почвы и метеорологических условий на эффективность биопрепаратов diaзотрофов и урожайность яровых зерновых культур.

Еговцева А. Ю. и соавторы [4] в исследованиях с сортами пшеницы Ермак, Багира, Лидия в 2018–2020 гг. установили, что под влиянием бактериализации семян штаммами diaзотрофов изменяется численность микроорганизмов различных экологотрофических групп чернозёма южного ризосферы пшеницы. Выявлен наиболее отзывчивый на инокуляцию семян штаммами diaзотрофов сорт Багира, урожайность которого возрастала на 0,2–0,4 т/га (5–10 %). Показано, что на урожайность зерна наибольшее влияние оказывала численность бактерий рода *Azotobacter*.

Исследования ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» показали положительное влияние инокуляции семян льна-долгунца биопрепаратами на основе штаммов ассоциативных азотфиксаторов на численность микроорганизмов в ризосфере культуры, нитрификационную способность почвы, урожайность и качество льнопродукции. Между количеством микроорганизмов ризосферы, урожайностью соломы и волокна льна-долгунца выявлены зависимости средней степени ($r = 0,59$ и $0,49$ соответственно). Урожайность соломы составила 4,19–4,49 т/га [5]

На чернозёмах обыкновенных Ростовской области изучали эффективность применения симбиотических и ассоциативных азотфиксирующих препаратов на озимой пшенице, озимом ячмене и сое [6]. Инокуляция семян озимых зерновых культур повышала урожайность на 2,3–10,1 %, сои на 8,5–10,1 %. Выявлена видовая предрасположенность к diaзотрофам: озимой пшеницы к «Ризоагрину», озимого ячменя к «Мизоагрину».

Изучено в 2012–2014 гг. влияние минеральных удобрений и бактериальных препаратов со штаммами ассоциативных азотфиксаторов «ПГ-5», «Флавобактерин 17-1», «Мизорин 7» на урожайность гибридов подсолнечника Патриот и Донской 1448 [7, 8]. Установлено увеличение урожайности подсолнечника гибрида Донской 1448 при инокуляции семян «Флавобактерином» на 0,12 т/га (7,8 %), гибрида Патриот ПГ-5 – на 0,37 т/га (23,0 %) в сравнении с контролем. При внесении оптимальной дозы удобрения

N₄₀P₅₀ под гибрид Патриот и N₄₀P₁₀₀ под гибрид Донской 1448 прибавки урожая достигали 0,46 т/га (28,4 %) и 0,47 т/га (30,7 %) соответственно.

Ряд исследователей показали роль почвенных бактерий [9, 10] и микоризных грибов [11] в оптимизации фосфорного питания растений и роль биоудобрений в управлении продуктивностью сельскохозяйственных культур. Так, например, совместное применение минеральных удобрений и микробного препарата «Фитостимифос» обеспечило прибавку урожая семян фасоли овощной на 10,1–11 ц/га, бобов овощных – на 9,6–9,9 ц/га и сырого протеина [12]. Показано, что при выращивании томата гибрида Омега действие «Фитостимифоса» равнозначно действию 20 кг/га д. в. фосфора минеральных удобрений [13]. Отмечается повышение стрессоустойчивости растений к действию негативных факторов, в частности тяжелых металлов [14].

Следует отметить недостаточную изученность применения микробных препаратов при выращивании подсолнечника в Краснодарском крае.

Цель исследований – изучить влияние полифункциональных микробных препаратов на урожайность подсолнечника и качество полученной продукции.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2020–2021 гг. в научном севообороте центральной экспериментальной базы ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК (г. Краснодар). Почва опытного участка – чернозём выщелоченный слабогумусный сверхмощный тяжелосуглинистый. В слое почвы 0–20 см обменная кислотность (рН_{KCl}) – 5,7–5,8, гидролитическая кислотность 4,3–4,4 мг-экв./100 г почвы, сумма поглощённых оснований 30,7–30,9 мг-экв./100 г почвы, нитрификационная способность – 18,4–18,6 мг NO₃/кг почвы, содержание гумуса по И. В. Тюрину – 3,45–3,59 %, подвижного фосфора – 25,7–26,4 мг/кг почвы (в вытяжке по Б. П. Мачигину), обменного калия в этой же вытяжке 408–418 мг/кг почвы. В ризосфере подсолнечника в фазы бутонизации и цветения определяли содержание аммонийного азота с реактивом Несслера, нитратного азота – потенциометрическим методом [15].

Семена среднераннего гибрида подсолнечника Тайфун инокулировали перед посевом микробными препаратами, разработанными в отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «НИИСХ Крыма»: «Фосфостим-Агро» (продуцент – штамм фосфатмобилизирующей бактерии со стимулирующим эффектом [16]), «Биопротид-Агро» (штамм бактерий – антагонист фитопатогенов), «Микробиоком-Агро» (комплекс микробных препаратов для оптимизации азотного, фосфорного питания и контроля фитопатогенов) и «Флавобак-Агро» (на основе перспективного штамма диазотрофных бактерий). Микробные препараты применяли в количестве 20 мг/кг семян.

Площадь делянки 50,0 м², учётная площадь – 25,0 м², повторность трёхкратная. Посев проводили вручную селекционными сажалками по три семянки в гнездо с последующей прорывкой и расстановкой по одному растению в гнезде при образовании шести–восьми настоящих листьев с густотой стояния растений 40–41 тыс. шт./га.

Агротехника в опытах – рекомендованная для центральной природно-климатической зоны Краснодарского края [17]. Обработку посевов гербицидами и фунгицидами не проводили, удобрения не вносили. Предшественник – озимая пшеница, под которую применяли азотно-фосфорное удобрение (аммофос и аммонийную селитру) в дозе N₉₀P₆₀. Уборку проводили комбайном «Wintersteiger». Урожай приводили к 10 %-ной влажности и 100 %-ной чистоте семян. Перед уборкой урожая отбирали пробы растений для определения элементов структуры урожая в соответствии с разработанной во ВНИИМК методикой [18]. Содержание масла в

семянках определяли на ЯМР-анализаторе АМВ-1006М по ГОСТ 8.596-2010 в отделе физических методов исследований ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК. Полученные экспериментальные данные оценивали методами математической статистики [19].

Метеорологические условия периода цветения–налив семян (июль–август) в 2020–2021 гг. характеризовались дефицитом осадков в июле 2021 г. и в августе 2020 г. Среднесуточная температура воздуха была в среднем выше нормы в июле на 3,6 °С, в августе на 2,9 °С (таблица 1).

Таблица 1 – Метеорологические условия по декадам периода цветения–налив семян в годы исследований (метеостанция СаирoBase, г. Краснодар)

Год	Декада июля				Декада августа			
	1	2	3	месяц	1	2	3	месяц
осадки, мм								
Климатическая норма	21,0	20,0	19,0	60,0	17,0	16,0	15,0	48,0
2020	32,2	64,0	29,8	126,0	6,4	0	10,6	17,0
2021	22,0	0	1,2	23,2	11,8	75,8	0,8	88,4
Среднее за два года	27,1	32,0	15,5	74,6	9,1	37,9	5,7	52,7
среднесуточная температура воздуха, °С								
Климатическая норма	22,5	23,2	23,8	23,2	23,7	22,7	21,6	22,7
2020	28,1	25,5	25,7	26,4	26,0	23,4	24,3	24,6
2021	25,7	29,0	26,6	27,1	28,6	24,5	26,5	26,5
Среднее за два года	26,9	27,3	26,2	26,8	27,3	24,0	25,4	25,6

Результаты и их обсуждение

В 2021 г. бактериализация семян подсолнечника микробными препаратами в целом не оказывала значительного влияния на содержание нитратного и аммонийного азота в ризосфере подсолнечника. Лишь в фазе бутонизации наблюдалось повышение содержания указанных форм азота (таблица 2). Снижение аммонийного и нитратного азота в фазу цветения может свидетельствовать о стимулирующем эффекте микробных препаратов и увеличении потребления азота растениями в активную фазу развития растений.

Таблица 2 – Влияние бактериализации семян биопрепаратами на содержание нитратного и аммонийного азота в ризосфере подсолнечника (2021 г.)

Вариант	N-NO ₃ , мг/кг		N-NH ₄ , мг/кг	
	бутонизация	цветение	бутонизация	цветение
Контроль (без обработки)	9,5	10,4	6,1	6,4
«Фосфостим-Агро»	10,8	9,4	10,5	5,4
«Биопротид-Агро»	10,3	9,3	9,4	4,2
«Микробиоком-Агро»	10,9	9,8	11,0	4,1
«Флавобак-Агро»	11,2	9,7	12,0	3,1
НСР ₀₅	1,5	1,2	4,0	2,3

Применение микробных препаратов «Фосфостим-Агро», «Биопротид-Агро», «Микробиоком-Агро» и «Флавобак-Агро» для предпосевной обработки семян подсолнечника обеспечило достоверную прибавку урожайности от 0,17 до 0,23 т/га в среднем за 2020–2021 гг. (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность подсолнечника при обработке семян биопрепаратами

Вариант	Урожайность (т/га) по годам			Прибавка урожая к контролю, т/га
	2020	2021	среднее	
Контроль (без обработки)	3,24	2,84	3,04	0
«Фосфостим-Агро»	3,47	3,03	3,25	0,21
«Биопротид-Агро»	3,41	3,00	3,21	0,17
«Микробиоком-Агро»	3,44	3,04	3,24	0,20
«Флавобак-Агро»	3,49	3,05	3,27	0,23
НСР ₀₅	0,09	0,08	0,07	–

Интродукция биопрепаратов обеспечивала достоверные прибавки урожая к контролю: в 2020 г. – 0,17–0,25 т/га, в 2021 г. – 0,16–0,21 т/га. Максимальная урожайность получена в вариантах с применением «Флавобак-Агро», «Фосфостим-Агро» и составила 0,23 и 0,21 т/га соответственно.

Предпосевная обработка семян микробными препаратами способствовала увеличению содержания масла в семянках подсолнечника (таблица 4). Масличность семянок повысилась к контролю в 2020 г. на 0,1–0,8 %, в 2021 г. на 0,5–1,5 %. Наибольшая эффективность выявлена при обработке семян биопрепаратами «Фосфостим-Агро» (0,9 %) и «Флавобак-Агро» (1,0 %).

Таблица 4 – Содержание масла в семянках подсолнечника в зависимости от применяемого биопрепарата

Препарат	Содержание масла в семянках (%) по годам			Разница с контролем, %
	2020 г.	2021 г.	среднее	
Контроль (без обработки)	48,1	49,0	48,6	0
«Фосфостим-Агро»	48,5	50,5	49,5	0,9
«Биопротид-Агро»	48,8	49,5	49,2	0,6
«Микробиоком-Агро»	48,2	50,5	49,4	0,8
«Флавобак-Агро»	48,9	50,3	49,6	1,0
НСР ₀₅	0,4	0,6	0,7	–

Сбор масла с урожаем достоверно возростал относительно контроля в 2020 г. на 0,08–0,14 т/га, в 2021 г. на 0,10–0,13 т/га и в среднем за два года на 0,10–0,13 т/га (таблица 5). Наибольший сбор масла выявлен при обработке семян подсолнечника биопрепаратом «Флавобак-Агро», применение которого способствовало увеличению сбора масла в сравнении с контролем на 0,13 т/га и с другими биопрепаратами на 0,02–0,03 т/га.

Таблица 5 – Сбор масла при обработке семян подсолнечника биопрепаратами

Препарат	Сбор масла (т/га) по годам			Прибавка сбора масла к контролю, т/га
	2020 г.	2021 г.	среднее	
Контроль (без обработки)	1,40	1,25	1,33	0
«Фосфостим-Агро»	1,52	1,35	1,44	0,11
«Биопротид-Агро»	1,50	1,36	1,43	0,10
«Микробиоком-Агро»	1,48	1,38	1,43	0,10
«Флавобак-Агро»	1,54	1,38	1,46	0,13
НСР ₀₅	0,042	0,044	0,035	–

Значительные различия выявлены по годам испытаний. Так, в 2020 г. масса 1000 семян составляла 85–87 г, а в 2021 г. – 64–67 г, или на 23–25 % меньше, что, вероятно, связано с погодными условиями.

Обработка семян биопрепаратами способствовала достоверному увеличению в сравнении с контролем диаметра корзинки на 0,6–0,9 см и числа выполненных семянок

в корзинке на 66–88 шт. (таблица 6). Самые высокие показатели получены при использовании биопрепаратов «Фосфостим-Агро» и «Флавобак-Агро»: диаметр корзинки увеличивался в среднем на 0,9 см, число выполненных семян в корзинке на 84 и 88 штук соответственно.

Таблица 6 – Диаметр корзинки и число выполненных семян в корзинке при обработке семян подсолнечника биопрепаратами

Препарат	Диаметр корзинки (см) по годам			Разница с контролем, см	Число выполненных семян в корзинке (шт.) по годам			Разница с контролем, шт.
	2020 г.	2021 г.	среднее		2020 г.	2021 г.	среднее	
Контроль (без обработки)	20,5	18,8	19,7	0	1183	1223	1203	0
«Фосфостим-Агро»	21,3	19,9	20,6	0,9	1235	1339	1287	84
«Биопротид-Агро»	21,2	19,4	20,3	0,6	1222	1316	1269	66
«Микробиоком-Агро»	20,9	19,7	20,3	0,6	1238	1326	1282	79
«Флавобак-Агро»	21,5	19,6	20,6	0,9	1271	1320	1291	88
НСР ₀₅	0,6	0,7	0,6	–	37,4	59,8	56,1	–

Таким образом, анализ полученных данных показал, что исследуемые микробные препараты являются эффективным агротехнологическим приемом повышения продуктивности подсолнечника, что выражается в повышении урожая и содержания масла в семенах, а также увеличении диаметра корзинки и числа выполненных семян в них. Следует отметить, что в среднем за годы исследований наиболее стабильный положительный эффект отмечен при интродукции биопрепаратов «Фосфостим-Агро» и «Флавобак-Агро», что может свидетельствовать об оптимизации фосфорного и азотного питания, стимуляции роста растений. Результаты, полученные в ходе научного исследования, согласуются с литературными данными [7, 8, 20].

Выводы

Результаты научного исследования показали эффективность исследуемых микробных препаратов при выращивании подсолнечника в погодных условиях 2020–2021 гг. на чернозёме выщелоченном слабогумусном сверхмощном Краснодарского края. Предпосевная обработка семян гибрида подсолнечника Тайфун биопрепаратами способствовала достоверному увеличению диаметра корзинки (на 0,6–0,9 см), числа выполненных семян в корзинке (на 66–88 шт.) и масличности семян (0,6–1,0 %) относительно контроля.

При использовании биопрепаратов «Фосфостим-Агро», «Биопротид-Агро», «Микробиоком-Агро» и «Флавобак-Агро» благодаря положительному влиянию на элементы структуры урожая и показатели качества семян урожайность подсолнечника достоверно превышала показатели контроля на 0,17–0,23 т/га (5,6–7,6 %) и сбор масла на 0,10–0,13 т/га (7,5–9,8 %).

Литература

1. Турусов В. И., Новичихин А. М., Богатых О. А., Бочарникова Е. Г. Биологические приемы повышения плодородия почвы и увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 10. С. 27–31.
2. Якубовская А. И., Каменева И. А., Григичин М. В., Мельничук Т. Н. Эффективность интродукции ассоциативных бактерий в ризосферу риса (*Oryza sativa* L.) // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 2(18). С. 110–116. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-2-18-110-116.
3. Завалин А. А., Алферов А. А., Чернова Л. С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрохимия. 2019. № 8. С. 83–96. DOI: 10.1134/S0002188119080143.
4. Еговцева А. Ю., Мельничук Т. Н., Абдурашитов С. Ф., Андронов Е. Е., Абдурашитова Э. Р., Радченко А. Ф., Ганоцкая Т. Л., Радченко Л. А. Влияние штаммов, ассоциативных с *Triticum aestivum* L., на микробиоценоз чернозема Южного ризосферы пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 4(24). С. 49–61. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-49-61.
5. Хамова О. Ф., Мансапова А. И., Горбова М. А., Шулико Н.Н., Тукмачева Е.В. Влияние биопрепаратов комплексного действия на биологическую активность ризосферы и продуктивность льна-долгунца // Плодородие. 2021. № 2(119). С. 52–55. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.14.
6. Гужвин С. А., Турчин В. В., Кумачева В. Д., Цыкора А. А. Применение азотфиксирующих биопрепаратов под полевые культуры на черноземе обыкновенном // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2020. № 4-1(38). С. 74–80.
7. Ващенко А. В., Каменев Р. А., Севостьянова А. А. Влияние минеральных удобрений и бактериальных препаратов на урожайность подсолнечника в условиях Нижнего Дона // Аграрная наука. 2020. № 2. С. 64–66. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-335-2-64-66.
8. Ващенко А. В., Каменев Р.А., Солодовников А. П., Жук А. П. Применение минеральных удобрений и бактериальных препаратов под подсолнечник на черноземе обыкновенном // Аграрный научный журнал. 2020. № 1. С. 4–8. DOI: 10.28983/asj.y2020i1pp4-8.
9. Kumar A., Kumar A., Patel H. Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. Vol. 7 (5). P. 1344–1347. DOI: 10.20546/ijcmas.2018.705.161.
10. Thakur D., Kaushal R., Shyam V. Phosphate solubilizing microorganisms: role in phosphorus nutrition of crop plants – a review // Agricultural Reviews. 2014. Vol. 35 (3). P. 159–171. DOI: 10.5958/0976-0741.2014.00903.9.
11. Камельчук Я. С. Микоризные грибы: современные представления значимости их в минеральном питании растений и как натуральных биоудобрений // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. 2020. № 1. С. 24–40.
12. Босак В. Н., Сафронова Г. В., Алещенкова З. М., Минюк О. Н. Способ оптимизации фосфатного режима почвы при возделывании сельскохозяйственных культур // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. Сборник научных трудов. 2016. Т. 8. С. 148–161.
13. Кошман М. Е., Босак В. Н. Особенности применения минеральных удобрений и биопрепарата фитостимифос при возделывании томата // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 41. С. 40–43.
14. Баранская М. И., Чайковская Л.А., Овсиенко О. Л., Клименко Н.Н. Влияние микробных препаратов на содержание хлорофиллов в листьях пшеницы озимой при стрессовом воздействии тяжелых металлов // Universum: химия и биология. 2017. № 4 (34). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-mikrobnih-preparatov-na-soderzhanie-hlorofillov-v-listyah-pshenitsy-ozimoy-pri-stressovom-vozdeystvii-tyazhelyh-metallor> (дата обращения: 20.07.2022).
15. Практикум по агрохимии // Под ред. Минеева В. Г. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
16. Патент РФ №2676926. Фосфатмобилизующий штамм почвенных бактерий *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3 и биопрепарат на его основе для оптимизации минерального питания растений, стимуляции роста и повышения урожайности // Авторы: Чайковская Л. А., Мельничук Т.Н., Каменева И. А., Баранская М. И., Овсиенко О. Л. Патентообладатель ФГБУН «НИИСХ Крыма». 11.01.2019.
17. Инновационные технологии возделывания масличных культур // Под общ. ред. В.М. Лукомца. Краснодар: Просвещение-Юг, 2017. 256 с.
18. Лукомец В. М., Тишков Н. М., Семеренко С. А. Методика агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами. Краснодар: Просвещение-Юг, 2022. С. 434–444.
19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Альянс, 2014. 352 с.
20. Лухменёв В. П. Влияние удобрений, фунгицидов и регуляторов роста на продуктивность подсолнечника // Известия ОГАУ. 2015. № 1 (51). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-udobreniy-fungitsidov-i-regulyatorov-rosta-na-produktivnost-podsolnechnika> (дата обращения: 18.08.2022).

References

1. Turusov V. I., Novichikhin A. M., Bogatykh O. A., Bocharnikova E. G. Biological methods of improving soil fertility and increasing the productivity of agricultural crops // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2017. Vol. 31. No. 10. P. 27–31.
2. Yakubovskaya A. I., Kameneva I. A., Gritchin M. V., Melnichuk T. N. Efficiency of the introduction of associative bacteria in rice rhizosphere (*Oryza sativa* L.) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2019. No. 2(18). P. 110–116. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-2-18-110-116.
3. Zavalin A. A., Alferov A. A., Chernova L. S. Associative nitrogen fixation and the practice of application of biological products in agricultural crops // Agrohimia. 2019. No. 8. P. 83–96. DOI: 10.1134/S0002188119080143.
4. Egovtseva A. Yu., Melnichuk T. N., Abdurashitov S. F., Andronov E. E., Abdurashitova E. R., Radchenko A. F., Ganotskaya T. L., Radchenko L. A. Influence of strains associated with *Triticum aestivum* L. on microbiocenosis in the rhizosphere of winter wheat of chernozem southern // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 4(24). P. 49–61. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-49-61.
5. Khamova O. F., Mansapova A. I., Gorbova M. A., Shuliko N.N., Tukmacheva E.V. Influence of biopreparations of integrated action on the biological activity of the rhizosphere and productivity of dolluna flax // Plodorodie. 2021. No. 2(119). P. 52–55. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.14.
6. Guzhvin S. A., Turchin V. V., Kumacheva V. D., Tsykora A. A. Application of nitrogen-fixing biologicals for field crops in common chernozem // Bulletin of Don State Agrarian University. 2020. No. 4-1(38). P. 74–80.
7. Vashchenko A. V., Kamenev R. A., Sevostyanova A. A. Influence of mineral fertilizers and bacterial preparations on sunflower yield in the conditions of the Lower Don // Agrarian Science. 2020. No. 2. P. 64–66. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-335-2-64-66.
8. Vashchenko A. V., Kamenev R. A., Solodovnikov A. P., Zhuk A. P. Application of mineral fertilizers and bacterial preparations under sunflower on ordinary chernozem // The Agrarian Scientific Journal. 2020. No. 1. P. 4-8. DOI: 10.28983/asj.y2020i1pp4-8.
9. Kumar A., Kumar A., Patel H. Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. Vol. 7(5). P. 1344–1347. DOI: 10.20546/ijemas.2018.705.161.
10. Thakur D., Kaushal R., Shyam V. Phosphate solubilizing microorganisms: role in phosphorus nutrition of crop plants – a review // Agricultural Reviews. 2014. Vol. 35(3). P. 159–171. DOI: 10.5958/0976-0741.2014.00903.9.
11. Kamelchuk Ya. S. Mycorrhizal fungi: their role modern and significance in mineral nutrition of plants, agriculture, potential for gardening as a natural biofertilizers // Bulletin of Polesky State University. Series in natural sciences. 2020. No. 1. P. 24–40.
12. Bosak V. N., Safronova G. V., Aleshchenkova Z. M., Minyuk O. N. Method for optimizing the phosphate regime of soil to cultivate agricultural crops // Microbial Biotechnologies: Fundamental and Applied Aspects. Collection of scientific papers. 2016. Vol. 8. P. 148–161.
13. Koshman M. E., Bosak V. N. Features of the application of the fertilizers and biologics fitostimofos the cultivation of tomato // Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2015. No. 41. P. 40–43.
14. Baranskaya M. I., Chaikovskaya L. A., Ovsienko O. L., Klimenko N. N. Influence of microbial preparations on the content of chlorophylls in the leaves of winter wheat under adverse impact to heavy metals // Universum: chemistry and biology. 2017. No. 4 (34). [Electronic resource]: Access point: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-mikrobyh-preparatov-na-soderzhanie-hlorofillov-v-listyah-pshenitsy-ozimoy-pri-stressovom-vozdeystvii-tyazhelyh-metallov> (reference's date 20.07.2022).
15. Workshop on agricultural chemistry // Ed. by Mineev V. G. Moscow: Moscow State University Publ., 2001. 689 p.
16. Patent No. № 2676926. Phosphate mobilizing strain of soil bacteria *Lelliottia nimipressuralis* CCM32-3 and a biological product based on it for optimizing the mineral nutrition of plants, stimulating growth and increasing productivity // Author's: Chaikovskaya L. A., Melnichuk T. N., Kameneva I. A., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L. Patentee: FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea" 11.01.2019.
17. Innovative technologies for the cultivation of oilseeds // Ed. by Lukomets V.M. Krasnodar: Prosveshchenie-Yug, 2017. 256 p.
18. Lukomets V. M., Tishkov N. M., Semerenko S. A. Methodology of agrotechnical research in experiments with the main field crops. Krasnodar: Prosveshchenie-Yug, 2022. P. 434–444.
19. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alliance, 2014. 352 p.
20. Lukhmenov V. P. Influence of fertilizers, fungicides and growth regulators on sunflower yields // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2015. No. 1 (51). [Electronic resource]: Access point: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-udobreniy-fungitsidov-i-regulyatorov-rosta-na-produktivnost-podsolnechnika> (reference's date 18.08.2022).

UDC 579.64; 631.461; 633.1

Tishkov N. M., Tilba V. A., Makhonin V. L., Yakubovskaya A.I., Kameneva I. A.,
Shkarupa M. V.

**EFFICIENCY OF MICROBIAL PREPARATIONS WITH POLYFUNCTIONAL
ACTION IN GROWING *HELIANTHUS ANNUUS* L. ON CHERNOZEMS
LEACHED**

Summary. Degradation of soil fertility has made the development of methods for biologization of agriculture, in particular, biologization of sunflower growing, relevant. The purpose of the research was to study the effect of polyfunctional microbial preparations on the yield and quality of sunflower seeds. The studies were carried out in 2020–2021 on the trial fields of the central experimental base of FSBSI “Federal Research Center “V.S. Pustovoit All-Russian Scientific Research Institute of Oil Crops” (VNIIMK) (Krasnodar). Soil – chernozem leached low-humus deep heavy loamy. The area of the plot – 50.0 m², accounting area – 25.0 m², triple replication. Sowing was carried out manually with selective planters; plant density – 40–41 thousand seeds/ha. Agricultural technology – recommended for the central natural and climatic zone of the Krasnodar Territory. Before sowing, seeds of the mid-early sunflower hybrid ‘Typhoon’ were inoculated with microbial preparations “Phosphostim-Agro”, “Bioprofid-Agro”, “Microbiocom-Agro” and “Flavobak-Agro” developed in the Department of Agricultural Microbiology of FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. Control – variant without inoculation. Experiments, crop accounting and statistical data processing were carried out by generally accepted methods. Oil content in the achenes was determined according to GOST 8.596-2010 developed at FSBSI “Federal Research Center “V.S. Pustovoit All-Russian Scientific Research Institute of Oil Crops” (VNIIMK). The results showed that all the studied microbial preparations were effective under weather conditions of 2020-2021. Presowing seed treatment with biologics significantly increased the diameter of the sunflower head (by 0.6–0.9 cm), number of completed seeds per head (by 66-88 pcs.) and oil content of the seeds (0.6–1.0 %). Due to the positive effect on the elements of the crop structure, microbial preparations significantly increased seed and oil yield by 0.17–0.23 t/ha (5.6–7.6 %) and 0.10–0.13 t/ha (7.5–9.8 %), respectively.

Keywords: sunflower (*Helianthus annuus* L.), microbial preparations, yield, quality, crop structure.

Тишков Николай Михайлович, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории агрохимии агротехнологического отдела, ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта»; 350038 Россия, г. Краснодар, ул. им. Филатова, 17; e-mail: agroh@vniimk.ru.

Тильба Владимир Арнольдович, доктор биологических наук, академик РАН, главный научный сотрудник лаборатории агрохимии агротехнологического отдела, ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта»; 350038 Россия, г. Краснодар, ул. им. Филатова, 17; e-mail: agroh@vniimk.ru.

Махонин Василий Леонидович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией агрохимии агротехнологического отдела, ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта»; 350038 Россия, г. Краснодар, ул. им. Филатова, 17; e-mail: soyagro15@yandex.ru.

Якубовская Алла Ивановна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и экологии микроорганизмов, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: yakubovskaya_alla@mail.ru.

Каменева Ирина Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии и экологии микроорганизмов ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295053, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: irina.kameneva.7@mail.ru

Шкарупа Маргарита Вячеславовна, младший научный сотрудник лаборатории агрохимии агротехнологического отдела, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта»; 350038 Россия, г. Краснодар, ул. им. Филатова,17; e-mail: agrohim@vniimk.ru.

Tishkov Nikolay Mikhailovich, Dr. Sc. (Agr.), chief researcher, Laboratory of agrochemistry, Agrotechnological Department, FSBSI “Federal Research Center “V.S. Pustovoit All-Russian Scientific Research Institute of Oil Crops”; 17, Filatova str., Krasnodar, Krasnodar Region, 350038, Russia; e-mail: agrohim@vniimk.ru.

Tilba Vladimir Arnoldovich, Dr. Sc. (Biol.), Academician of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Laboratory of agrochemistry, Agrotechnological Department, FSBSI “Federal Research Center “V.S. Pustovoit All-Russian Scientific Research Institute of Oil Crops”; 17, Filatova str., Krasnodar, Krasnodar Region, 350038, Russia; e-mail: agrohim@vniimk.ru.

Makhonin Vasily Leonidovich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, head of the Laboratory of agrochemistry, Agrotechnological Department, FSBSI “Federal Research Center “V.S. Pustovoit All-Russian Scientific Research Institute of Oil Crops”; 17, Filatova str., Krasnodar, Krasnodar Region, 350038, Russia; e-mail: soyagro15@yandex.ru.

Yakubovskaya Alla Ivanovna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher, Laboratory of physiology and ecology of microorganisms, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: yakubovskaya_alla@mail.ru.

Kameneva Irina Alekseevna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, Laboratory of physiology and ecology of microorganisms, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295053, Russia; e-mail: irina.kameneva.7@mail.ru.

Shkarupa Margarita Vyacheslavovna, junior researcher, Laboratory of agrochemistry, Agrotechnological Department, FSBSI “Federal Research Center “V.S. Pustovoit All-Russian Scientific Research Institute of Oil Crops”; 17, Filatova str., Krasnodar, Krasnodar Region, 350038, Russia; e-mail: agrohim@vniimk.ru.

Дата поступления в редакцию – 18.04.2022.

Дата принятия к печати – 25.07.2022.

УДК 633.321:631.531.011.2
EDN AXIMXU

Шихова И. В., Арзамасова Е. Г., Попова Е. В.
**ОЦЕНКА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ПОСЕВНЫХ
КАЧЕСТВ СЕМЯН КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО НА РАННИХ СТАДИЯХ
РАЗВИТИЯ**

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

Реферат. Изучение жизнеспособности семян представляет большой теоретический и практический интерес. Цель исследований – оценить влияние различных условий года и длительности хранения на посевные качества семян клевера лугового, выделить популяции с высокими морфофизиологическими параметрами проростков и силой роста семян. Для исследования были взяты семена репродукции 2020 г. (первый год пользования (г.п.)) и 2021 г. (второй г.п.), полученные в питомнике оценки семенной продуктивности 2019 г. посева. Установлена достоверная положительная корреляционная связь между количеством осадков в фазу цветения и количеством твёрдых семян ($r = 0,81^{**}$ и $r = 0,80^{**}$) и отрицательная с энергией прорастания ($r = -0,52^{***}$ и $r = -0,74^{**}$). Обнаружена положительная корреляция между массой 1000 семян и значением гидротермического коэффициента (ГТК) в межфазный период «цветение-созревание» ($r = 0,75^{**}$ и $r = 0,78^{**}$). Выявлено, что свежесобранные семена обладали низкой энергией прорастания и большей твёрдосемянностью, по сравнению с семенами, прошедшими период дозревания. При определении силы роста семян проанализированы ростовые показатели проростков. Семена первого г.п. отличались от семян урожая второго г.п. меньшей длиной ростка, гипокотыля и корешка в среднем на 1–2 мм. Равномерный рост в оба года зафиксирован у селекционных популяций СГПФ-159-3 и ГПФ-49-3. По силе роста достоверно превысили стандарт (61,5 %, НСР₀₅ = 10,7 % и 62,5 %, НСР₀₅ = 13,7 %) в 2020 г. популяции ГПФ-86-3, СГПФ-159-3, ГПФ-32-2Ф1 и ГПФ-49-3 (85,0; 82,0; 78,0 и 73,5 % соответственно), в 2021 г. – СГПФ-159-3, ГПФ-49-3 и сорт Трио (89,0; 86,5 и 79,0 % соответственно). Тесная корреляционная зависимость отмечена между силой роста и ростовыми показателями. Наибольшая сила роста при высоких показателях всхожести отмечена у СГПФ-159-3 (82,0 и 89,0 %) и ГПФ-49-3 (73,5 и 86,5 %).

Ключевые слова: клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), селекционная популяция, всхожесть, энергия прорастания, твёрдосемянность, проростки, сила роста, коэффициент корреляции.

Для цитирования: Шихова И. В., Арзамасова Е. Г., Попова Е. В. Оценка морфофизиологических показателей и посевных качеств семян клевера лугового на ранних стадиях развития // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 198–221. EDN: AXIMXU.

For citation: Shikhova I. V., Arzamasova E. G., Popova E. V. Evaluation of morpho-physiological indicators and sowing quality of *Trifolium pratense* L. seeds at the early stages of development // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 198–221. EDN: AXIMXU.

Введение

Для многолетних трав характерна разнокачественность семян, так как они длительно прорастают, неравномерно цветут и созревают, имеют различную физиологическую спелость [1]. Рост и развитие клевера лугового, как и других сельскохозяйственных культур, получение качественного семенного материала зависят от погодных условий периода вегетации растений, реакции генотипов на эти условия [2–4]. Кроме того, существенное влияние на качество посевного материала после

уборки оказывает срок хранения. При хороших условиях хранения количество всхожих семян у бобовых трав через два года снижается на 3–10 %, а через три года – на 8–35%. Доля же твёрдых семян, напротив, уменьшается. Длительность жизнеспособности семян при хранении определяется комплексом биохимических и биологических процессов, зависящих от особенностей самих семян и условий внешней среды [5–9].

На семенную продуктивность также существенно оказывает влияние степень развития проростков на ювенильных этапах. Сильные проростки с хорошими зародышевыми корешками менее подвержены стрессовым условиям среды [10]. Морфофизиологическая оценка степени развития проростков служит контролем биологических свойств семян и позволяет оценить особенности реализации потенциальных возможностей генотипа сорта в конкретных экологических условиях [11].

Показатели посевных качеств семян, таких как лабораторная всхожесть и энергия прорастания, используют только в работе с живыми семенами, пригодными для посева. По лабораторной всхожести устанавливают норму высева семян. Но этот показатель не даёт полной информации о степени их жизнеспособности, не говорит о поведении семян в полевых условиях, о способности формировать проростки и продуктивное растение. В настоящее время широко используют показатель силы роста семян, как дополнительный критерий оценки качества посевного материала. При определении динамики полевой всхожести первыми дают всходы семена с наибольшей силой роста. Чем раньше появятся проростки, тем быстрее они перейдут к автотрофному питанию и развитию растения. Сила роста имеет тесную связь с уровнем полевой всхожести и служит средством для её прогнозирования [12–16]. Установлено, что семена с высокой силой роста лучше противостоят неблагоприятным условиям внешней среды, всходы быстрее растут и развиваются, меньше болеют. Показатель силы роста характеризует биологические свойства семян, длительность их прорастания, степень роста проростков [17, 18]. Семена, обладающие высокими показателями силы роста, проявляют и высокие урожайные свойства. Изучение развития органов проростков и выявление связей с фактической урожайностью является актуальным, так как позволяет спрогнозировать в лабораторных условиях урожайность, наметить мероприятия по подготовке семян к посеву и технологические приёмы возделывания [11].

Цель исследований – оценить влияние различных условий года и длительности хранения на посевные качества семян клевера лугового, выделить популяции с высокими морфофизиологическими параметрами проростков и силой роста семян.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в 2020–2021 гг. в лабораторных условиях. В качестве объекта исследований был использован семенной материал шести популяций клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) различного селекционного происхождения: гибридных и сложногогибридных популяций с отбором на фузариозном фоне (ГПФ-49-3, ГПФ-86-3, СГПФ-159-3, СГПФ-159-3+СГП-117), гибридной популяции с двукратным отбором на склеротиниозном фоне и однократным на фузариозном ГПР-32-2Ф1, поликроссной популяции П-15, в сравнении с районированными сортами двукосного типа Трио и стандартом (St.) Дымковский. Данные селекционные популяции прошли оценку по комплексу хозяйственно ценных признаков (зимостойкость, урожайность и качество корма, устойчивость к болезням) в 2–3 циклах конкурсного сортоиспытания и были выделены как перспективные для передачи на Государственное сортоиспытание. Семенной материал получен в питомнике оценки семенной продуктивности 2019 г. посева на экспериментальном поле ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого». Почва опытного участка дерново-

среднеподзолистая среднесуглинистая сильноокислая ($pH_{KCl} = 4,4$), с высоким содержанием элементов минерального питания (по Кирсанову): P_2O_5 – 192,5 мг/кг почвы, K_2O – 217,9 мг/кг почвы и низким содержанием гумуса (по Тюрину, ГОСТ 26213-91) – 2,2 %.

Метеорологические условия вегетационных периодов 2020 и 2021 гг. были различными и отразились на качестве полученного семенного материала. Вегетационный сезон 2020 г. был умеренно-тёплым, с достаточным увлажнением. В первой половине мая было по-летнему тепло, затем до конца месяца установилась холодная погода, которая сдерживала развитие растений. Влагообеспеченность была выше нормы (ГТК – 3,0). В первую и вторую декаду июня преобладала тёплая, в отдельные дни жаркая погода с дефицитом осадков. В третьей декаде на фоне кратковременного похолодания начали зацветать травостой раннеспелых популяций (ГПФ-49-3, П-15, ГПР-32-2Ф1, СППФ-159-3, СППФ-159-3+СПП-117, сорт Трио). Цветение среднеспелой популяции ГПФ-86-3 и сорта Дымковский совпало с наступлением нового потепления (05–07.07). Июль был типично умеренно-тёплым и тёплым: условия влагообеспеченности выше нормы (ГТК – 1,6), сумма эффективных температур воздуха к концу месяца достигла 1390 °С. Созревание клеверов проходило при неустойчивой от тёплой до прохладной с небольшими осадками погоде. Во второй половине августа выпадали редкие, но обильные дожди, что привело к полеганию, израстанию созревших семенных травостоев и осложнило уборку, снизило урожай семян. ГТК за вегетационный период (с 21 апреля по 15 августа) составил 2,2, сумма эффективных температур воздуха – 1620 °С, среднесуточная температура воздуха – 14,7 °С, осадков выпало 353 мм.

Погодные условия 2021 г. характеризовались тёплой (до жаркой) погодой, с периодически выпадающими осадками. Начиная со второй декады мая и почти до конца месяца удерживалась аномально высокая температура воздуха (на 8–10 °С выше климатической нормы), затем наступило непродолжительное похолодание. Количество осадков составило 57 мм, ГТК – 1,4. В июне температура воздуха была выше климатической нормы на 3,4 °С, осадков выпало 63 мм (80 % от нормы), увлажнение достаточное (ГТК – 1,0). Это привело к более раннему зацветанию травостоев клевера лугового по сравнению с вегетационным периодом 2020 г. У раннеспелых популяций и сорта Трио фаза цветения отмечена 22–24.06, у среднеспелой и сорта Дымковский – 24–30.06. Погода июля в целом была благоприятной для опыления и завязывания семян. В течение месяца преобладали умеренно-тёплые и жаркие дни с редкими дождями. Такие погодные условия способствовали раннему созреванию семенных травостоев (19–24.07). Для этого вегетационного периода (с 20 апреля по 24 июля) характерно: ГТК – 1,2, сумма эффективных температур воздуха – 1488 °С, среднесуточная температура воздуха – 16,3 °С, количество осадков – 185 мм. Полученные в 2021 г. семена отличались меньшей крупностью и массой.

Для исследования были взяты семена урожая 2020 г. (первого г.п.) с чистотой 100 %, массой 1000 семян от 1,55 до 1,94 г, урожая 2021 г. (второго г.п.) с чистотой 100 %, массой 1000 семян от 1,42 до 1,64 г.

Посевные качества семян: энергия прорастания, лабораторная всхожесть и масса 1000 семян оценены согласно ГОСТ 12038-84 и ГОСТ 52325-2005. Семена клевера лугового проращивали в чашках Петри и в рулонах из фильтровальной бумаги в термостате. Энергию прорастания определяли на третьи сут, а лабораторную всхожесть – на седьмые сут после закладки. Анализ степени развития проростков [19] и определение силы роста проводили по методическим указаниям ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса [13]. Проростки семян оценивали на седьмые сут при проращивании семян в рулонах из увлажненной фильтровальной бумаги по пятибалльной шкале:

сильные, с длиной ростка от 10 мм до 30 мм и выше, с длиной корешка от 10 мм до 25 мм и выше (3, 4, 5 баллов); слабые, с длиной ростка и корешка менее 10 мм (1, 2 балла).

Полученные результаты обрабатывали статистически с применением метода дисперсионного и парного корреляционно-регрессионного анализа по Б. А. Доспехову [20] с использованием пакета селекционно-ориентированных программ AGROS v. 2.07 и программы Microsoft Excel 2010.

Результаты и их обсуждение

Посевные качества семян клевера лугового: лабораторная всхожесть, энергия прорастания, масса 1000 семян были оценены в зависимости от влияния на них погодных условий вегетационного периода. Семенной материал закладывали на проращивание в чашки Петри через два месяца после уборки травостоев. Согласно таблице 1, всхожесть семян всех селекционных популяций и сортов была высокой и соответствовала категориям «оригинальные и элитные семена» (ГОСТ 52325-2005): в 2020 г. варьировала от 95,0 (СГПФ-159-3+СГП-177, ст. Дымковский) до 98,5 % (сорт Трио), в 2021 г. от 96,0 (ГПФ-49-3) до 100,0 % (ГПР-32-2Ф1).

Таблица 1 – Посевные качества семян селекционных популяций клевера лугового урожая 2020 и 2021 гг. через два месяца после уборки

Популяция	Всхожесть, %		Энергия прорастания, %		Твёрдые семена, %		Масса 1000 семян, г	
	1 г.п.	2 г.п.	1 г.п.	2 г.п.	1 г.п.	2 г.п.	1 г.п.	2 г.п.
ГПФ-49-3	98,0*	96,0*	29,5*	31,0*	64,0*	59,5	1,62*	1,55
П-15	96,5	97,0	45,5*	47,5*	46,0*	44,5*	1,78*	1,57
Трио	98,5*	99,5	39,5*	38,5*	56,0*	46,5*	1,55	1,42
ГПР-32-2Ф1	97,5*	100,0*	43,5*	47,0*	48,0*	46,0*	1,77*	1,49
СГПФ-159-3	98,0*	98,5	34,5*	57,0*	58,5*	38,0*	1,89*	1,59
СГПФ-159-3+СГП-117	95,0	98,0	49,5*	24,0*	41,0*	69,5*	1,94*	1,57
ГПФ-86-3	96,5	97,5	57,5*	34,5*	36,0*	56,5	1,76*	1,59
Дымковский (Ст.)	95,0	98,0	70,5	27,5	21,0	61,0	1,60	1,64
НСР ₀₅	1,5	1,9	7,1	2,4	5,3	4,3	0,01	0,01

Примечание. * – достоверно к стандарту ($p \geq 0,95$).

Энергия прорастания семян в первый и второй г.п. у раннеспелых популяций составила 29,5 (ГПФ-49-3) – 49,5 % (СГПФ-159-3+СГП-117) и 24,0 (СГПФ-159-3+СГП-117) – 57,0 % (СГПФ-159-3) соответственно. Количество твёрдых семян варьировало в первый г.п. от 41,0 (СГПФ-159-3+СГП-117) до 64,0 % (ГПФ-49-3), во второй г.п. – от 38,0 (СГПФ-159-3) до 69,5 % (СГПФ-159-3+СГП-117). У среднеспелой популяции ГПФ-86-3 и сорта Дымковский эти показатели различались по годам. В первый г.п. энергия прорастания была выше (57,5 и 70,5 %), чем во второй (27,5 и 34,5 %). Соответственно доля твёрдых семян в урожае 2020 г. ниже, чем в урожае 2021 г. Согласно литературным данным, на твёрдосемянность у бобовых культур оказывает влияние недостаток влаги в фазу цветения. В засушливые годы твёрдых семян образуется больше [5]. Выявлена положительная корреляционная связь между количеством твёрдых семян и количеством осадков в фазу цветения ($r = 0,81^{**}$ и $r = 0,80^{**}$). Отрицательное влияние оказали осадки на показатель энергии прорастания ($r = -0,52^{***}$ и $r = -0,74^{**}$; * значимо при $p \leq 0,01$; ** – $p \leq 0,05$; *** – $p \leq 0,1$).

На массу 1000 семян также оказывали влияние погодные условия сезона. Формирование семян первого г.п. проходило в течение влажного и тёплого июля, что отразилось на их выполненности и массе (1,55–1,94 г). Во второй г.п. при недостатке осадков в межфазный период «цветение–созревание» масса 1000 семян снизилась на 8–

15 % и составила 1,42–1,64 г. Отмечена тесная положительная корреляция между массой 1000 семян и значением ГТК в указанный межфазный период ($r = 0,75^{**}$ и $r = 0,78^{**}$).

Выявлено влияние сроков хранения на качество семенного материала. Так, через шесть месяцев после уборки количество твёрдых семян в урожае второго г.п. находилось в пределах 34,0 (СГПФ-159-3) – 61,0 % (СГПФ-159-3+СГП-117), а после полутора лет хранения (урожай семян первого г.п.) доля их уменьшилась в два раза и составила 15,0 (П-15) – 38,0 % (ГПР-32-2Ф1). Соответственно у более свежих семян энергия прорастания была ниже 38,0 (СГПФ-159-3+СГП-177) – 60,0 % (СГПФ-159-3), чем у дозревших (60,0–77,0 %) (рисунок 1). Кроме того, значение этого показателя увеличилось в 1,5–2,0 раза по сравнению с данными, полученными при закладке семян после уборки.

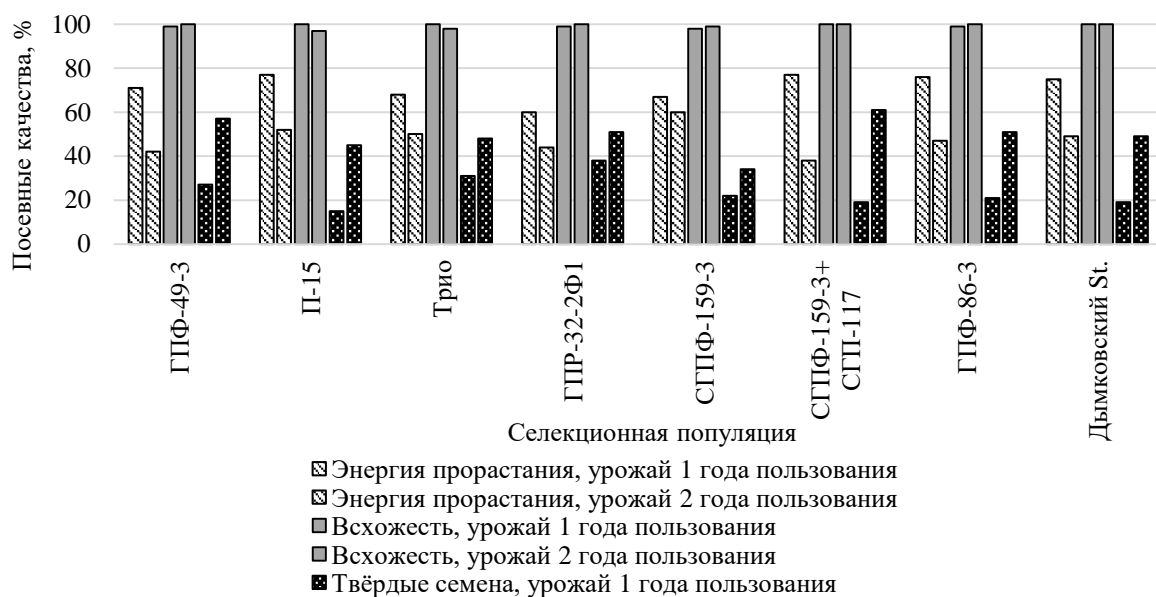


Рисунок 1 – Посевные качества семян селекционных популяций клевера лугового урожая 2020 и 2021 гг. через шесть месяцев после уборки

Всхожесть семян урожаев двух лет была высокая: у семян 2020 г. от 98,0 до 100,0 %, у семян 2021 г. от 97,0 до 100,0 %.

Нами были измерены ростовые показатели и определена масса проростков (таблица 2).

Средняя длина ростка семян урожая первого г.п. составила 34,0 мм, минимальной она была у популяции ГПФ-49-3 (2,0 мм), а максимальной у ГПФ-86-3 (64 мм). Благодаря сильному варьированию данного показателя наблюдается высокий уровень изменчивости ($CV = 32,2$ (ГПФ-86-3) – 62,2 % (П-15)). Суточный рост ростка был наибольшим у ГПФ-86-3 (5,5 мм) и СГПФ-159-3 (5,4 мм), при показателях районированных сортов Трио – 4,6 мм и стандарта Дымковский – 4,8 мм.

Длина гипокотилия варьировала от 25,2 (П-15) до 34,3 мм (ГПФ-86-3), со средним значением по опыту 30,2 мм.

Длина корешка достигала 13,4 (Трио) – 21,8 мм (ГПФ-86-3), с минимальным показателем 2,0 мм (ГПФ-49-3, П-15, СГПФ-159-3+СГП-117, Трио, Дымковский) и максимальным – 55,0 мм (ГПР-32-2Ф1) ($CV = 42,8$ (ГПФ-86-3) – 64,7 % (П-15)). Достоверно превзошли Дымковский (14,2 мм, $НСР_{05} = 3,5$ мм) популяции ГПФ-86-3 (21,8 мм), ГПР-32-2Ф1 (20,0 мм), СГПФ-159-3 (18,8 мм), ГПФ-49-3 (18,4 мм), СГПФ-

159-3+СПП-117 (17,9 мм). Суточный рост корешка у всех популяций был выше (2,2–3,1 мм), чем у районированных сортов (1,9 и 2,0 мм). В среднем по опыту длина корешка была меньше длины ростка в два раза.

Таблица 2 – Морфофизиологическая характеристика проростков клевера лугового (на седьмые сут после начала проращивания), 2020–2021 гг.

Популяция	Год пользования	Длина ростка, мм	Длина гипокотилия, мм	Длина корешка, мм	Суточный рост, мм		Коэффициент симметрии	Общая масса проростков, г
					ростка	корешка		
ГПФ-49-3	первый	34,9 ± 2,69	31,1 ± 2,69	18,4 ± 1,98*	5,0	2,6	1,9	1,28*
	второй	35,4 ± 3,51	31,6 ± 3,53	17,9 ± 1,81*	5,0	2,5	2,0	0,89*
П-15	первый	28,6 ± 2,98	25,2 ± 2,94	15,4 ± 1,67	4,1	2,2	1,9	1,46
	второй	31,6 ± 2,81	27,8 ± 2,82	14,9 ± 1,34	4,5	2,1	2,1	0,98*
Трио	первый	31,9 ± 2,61	18,6 ± 2,64	13,4 ± 1,42	4,6	1,9	2,4	1,47
	второй	34,4 ± 1,96	31,5 ± 1,98	15,9 ± 1,29*	4,9	2,3	2,1	1,11*
ГПР-32-2Ф1	первый	36,1 ± 2,39	32,3 ± 2,39	20,0 ± 1,88*	5,2	2,8	1,8	1,59
	второй	31,2 ± 3,13	27,4 ± 3,10	15,7 ± 1,73*	4,4	2,2	2,0	0,81*
СГПФ-159-3	первый	37,8 ± 2,25	34,0 ± 2,26	18,8 ± 1,37*	5,4	2,7	2,0	1,87*
	второй	37,1 ± 2,01*	33,5 ± 2,00*	19,9 ± 1,54*	5,3	2,8	1,9	1,47*
СГПФ-159-3 + СПП-117	первый	29,7 ± 2,45	25,9 ± 2,44	17,9 ± 1,76*	4,2	2,6	1,6	1,52
	второй	34,7 ± 3,62	30,8 ± 3,60	15,1 ± 2,08	5,0	2,2	2,3	0,77*
ГПФ-86-3	первый	38,6 ± 2,13	34,3 ± 2,04	21,8 ± 1,57*	5,5	3,1	1,8	1,76
	второй	25,8 ± 2,96*	22,2 ± 2,90	11,9 ± 1,18	3,7	1,7	2,2	0,63
Дымковский (St.)	первый	34,0 ± 2,60	30,2 ± 2,58	14,2 ± 1,27	4,8	2,0	2,4	1,54
	второй	31,8 ± 3,24	27,8 ± 3,20	13,3 ± 2,13	4,5	1,9	2,4	0,50
Среднее	первый	34,0	30,2	17,5	4,8	2,5	2,0	1,56
	второй	32,8	29,1	15,6	4,7	2,2	2,1	0,90
НСР ₀₅	первый	5,4	5,0	3,5	-	-	-	0,24
	второй	5,1	5,0	1,9	-	-	-	0,21
CV, %	первый	10,73	11,37	16,67	-	-	-	-
	второй	10,67	12,20	16,02	-	-	-	-

Примечание. CV – коэффициент вариации; * – достоверно к стандарту ($p \geq 0,95$).

По комплексу ростовых показателей выделена популяция ГПФ-86-3 с наибольшей длиной ростка 38,6 мм, длиной гипокотилия 34,3 мм, длиной корешка 21,8 мм и суточным ростом 5,5 и 3,1 мм.

Проростки семян второго г.п. отличались от семян первого г.п. меньшей длиной ростка, гипокотилия и корешка, так как на качество семян повлияли условия года произрастания. Семена урожая 2021 г. имели длину ростка от 25,8 (ГПФ-86-3) до 37,1 мм (СГПФ-159-3) со средним значением по опыту 32,8 мм. Наименьшая длина отмечена у П-15, ГПР-32-2Ф1 и стандарта (4,0 мм), а наибольшая – 68,0 мм у ГПФ-86-3 (CV = 28,3 (Трио) – 58,2 % (ГПФ-86-3)). По длине ростка и гипокотилия популяция СГПФ-159-3 (37,1 и 33,5 мм) превосходила стандарт (31,8 и 27,8 мм, при НСР₀₅ = 5,1 и 5,0 мм).

По длине корешка выделились популяции СГПФ-159-3, ГПФ-49-3, ГПР-32-2Ф1 и сорт Трио (19,9; 17,9; 15,7 и 15,9 мм соответственно), как достоверно превысившие стандарт Дымковский (13,3 мм, НСР₀₅ = 1,9 мм). Средняя длина корешка составила 15,6 мм. Минимальный показатель отмечен у П-15 и стандарта (2,0 мм), максимальный – у СГПФ-159-3 (41,0 мм). Коэффициент вариации по данному показателю значительный (CV = 40,5 (Трио) – 58,8 % (Дымковский)). Суточный рост корешка изменялся от 1,7 (ГПФ-86-3) до 2,8 мм (СГПФ-159-3). В 2021 г. можно выделить популяцию СГПФ-159-3, имеющую наибольшее превосходство над стандартом по всем ростовым показателям.

За два года равномерный рост проростков зафиксирован у популяций СГПФ-159-3 и ГПФ-49-3.

Изменчивость показателей длины проростков по годам средняя. Коэффициент вариации длины ростка соответственно составляет 10,73 и 10,67 %, длины гипокотыля – 11,37 и 12,20 %, длины корешка – 16,67 и 16,02 %. Установлена высокая отрицательная корреляционная зависимость между урожайностью и длиной корешка в первый год ($r = -0,84^*$) и положительная корреляция средней степени во второй год ($r = 0,36^{***}$).

Коэффициент симметрии (соотношение длины ростка к длине корешка) составил в 2020 г. 1,6 (СГПФ-159-3+СГП-117) – 2,4 (Трио и Дымковский), в 2021 г. – 1,9 (СГПФ-159-3) – 2,4 (Дымковский). Установлено, что чем выше данный коэффициент, тем ниже урожайные свойства семян [21, 22]. Отмечена тесная положительная (первый г.п.) и отрицательная (второй г.п.) корреляция между урожайностью и коэффициентом симметрии ($r = 0,82^{**}$ и $r = -0,63^{***}$).

По толщине ростка и корешка, а также массе проростки не различались по годам. Диаметр ростка был равен 0,6–0,7 мм, диаметр корешка – 0,5–0,6 мм. Масса проростка в среднем составляла 0,02 г. Общий вес полученных проростков семян первого г.п. варьировал от 1,28 (ГПФ-49-3) до 1,84 г (СГПФ-159-3) со средним значением по опыту 1,56 г, семян второго г.п. – от 0,50 (Дымковский) до 1,47 г (СГПФ-159-3) со средним значением 0,90 г. Популяция СГПФ-159-3 достоверно превзошла стандарт (1,54 и 0,50 г, при $НСР_{05} = 0,24$ и $0,21$ г) по общей массе проростков в оба года. В 2021 г. сорт Трио (1,11 г), популяции П-15 (0,98 г), ГПФ-49-3 (0,89 г), ГПР-32-2Ф1 (0,81 г) и СГПФ-159-3+СГП-117 (0,77 г) также были достоверно выше стандартного сорта (0,50 г, $НСР_{05} = 0,21$ г) по этому показателю.

Метод проращивания семян в рулонах позволяет определить не только силу роста, а также всхожесть и энергию прорастания (таблица 3).

Таблица 3 – Посевные качества семян клевера лугового при проращивании в рулонах (2020–2021 гг.)

Популяция	Год пользования	Всхожесть, %	Энергия прорастания, %	Твёрдые семена, %	Сила роста, %	Распределение проростков по баллам, шт.				
						сильные			слабые	
						5	4	3	2	1
ГПФ-49-3	первый	100,0	49,0*	35,0*	73,5*	13	-	35	5	-
	второй	100,0	17,0	64,0	86,5*	4	2	25	1	-
П-15	первый	95,0	55,0*	22,0	64,5	13	1	33	16	-
	второй	99,0	33,0	47,0*	72,5	6	-	32	5	-
Трио	первый	100,0	64,0	27,0*	56,0	8	-	33	4	-
	второй	100,0	37,0*	47,0*	79,0*	4	1	37	-	-
ГПР-32-2Ф1	первый	94,0	52,0*	30,0*	78,0*	17	3	30	4	1
	второй	99,0	20,0	56,0*	72,5	5	2	24	3	-
СГПФ-159-3	первый	99,0	68,0	17,0	82,0*	16	2	49	4	-
	второй	99,0	44,0*	37,0*	89,0	16	-	39	2	1
СГПФ-159-3+СГП-117	первый	93,0*	49,0*	13,0	71,0	16	1	40	7	2
	второй	99,0	29,0	64,0	57,0	4	-	16	4	-
ГПФ-86-3	первый	98,0*	59,0	28,0*	85,0*	21	6	33	2	1
	второй	95,0*	31,0	49,0*	51,5	3	1	21	5	-
Дымковский (St.)	первый	98,0	68,0	18,0	61,5	9	2	38	8	2
	второй	98,0	25,0	69,0	62,5	2	1	15	2	-
НСР ₀₅	первый	4,4	11,3	4,4	10,7	-	-	-	-	-
	второй	2,8	9,2	8,8	13,7	-	-	-	-	-

Примечание. * – достоверно к стандарту ($p \geq 0,95$).

Лабораторная всхожесть у всех изучаемых селекционных популяций и сортов была высокой: в первый г.п. – 93,0 (СГПФ-159-3+СГП-117) – 100,0 % (ГПФ-49-3, Трио),

во второй г.п. – 95,0 (ГПФ-86-3) – 100,0 % (ГПФ-49-3, Трио). По энергии прорастания отмечены аналогичные результаты при проращивании в чашках Петри для определения влияния длительности хранения семян на их посевные качества. Энергия прорастания семян первого г.п. находилась в пределах от 49,0 (ГПФ-49-3, СГПФ-159-3+СГП-117) до 68,0 % (СГПФ-159-3, Дымковский), количество твёрдых семян варьировало от 13,0 (СГПФ-159-3+СГП-117) до 35,0 % (ГПФ-49-3). У более свежих семян энергия прорастания была ниже (17,0–44,0 %), достоверное превышение стандарта отмечено у популяции СГПФ-159-3 (44,0 %, стандарт – 25,0 %, при $НСР_{05} = 9,2$ %), твёрдосемянность соответственно была выше – от 37,0 (СГПФ-159-3) до 69,0 % (Дымковский). Кроме того, при проращивании семян в рулонах, благодаря ухудшению воздухообмена между слоями фильтровальной бумаги наблюдали снижение энергии прорастания (–15 %) и лабораторной всхожести (–2 %) по сравнению с семенами, заложенными в чашках.

При оценке семян в лабораторных условиях сложно предсказать полевую всхожесть из-за неблагоприятных условий окружающей среды. Поэтому дополнительно рекомендуется определять силу роста семян как показатель, отражающий потенциальную активность проростков при прорастании в полевых условиях. При этом учитываются индивидуальные особенности в развитии проростков: размеры, целостность, степень развития [12]. Показатель силы роста выражается процентом сильных проростков от общего числа проросших семян [13, 23]. Сила роста семян урожая 2020 г. составила 56,0 (Трио) – 85,0 % (ГПФ-86-3), достоверно превзошли стандарт (61,5 %, $НСР_{05} = 10,7$ %) популяции ГПФ-86-3 (85,0 %), СГПФ-159-3 (82,0 %), ГПР-32-2Ф1 (78,0 %), ГПФ-49-3 (73,5 %). В 2021 г. этот показатель находился в пределах 51,5 (ГПФ-86-3) – 89,0 % (СГПФ-159-3). Популяции СГПФ-159-3, ГПФ-49-3 и сорт Трио превысили на достоверном уровне по силе роста стандарт (62,5 %, $НСР_{05} = 13,7$ %) на 26,5; 24,0 и 16,5 % соответственно.

Наибольшая сила роста при высоком показателе всхожести отмечена у СГПФ-159-3 (82,0 и 89,0 %) и ГПФ-49-3 (73,5 и 86,5 %), то есть данные популяции способны дать хорошие сильные всходы и высокий урожай семян. У ГПР-32-2Ф1 индекс силы роста был стабильным по годам (78,0 и 72,5 %).

Минимальная разница между лабораторной всхожестью и силой роста выявлена у СГПФ-159-3 в оба года (17 и 10 %), у остальных популяций разрыв между этими показателями более значительный (ГПФ-86-3 – 13,0–43,5 %). Таким образом, количество всходов в полевых условиях уменьшится в среднем на 30 %.

Между показателями лабораторной всхожести и силой роста в 2021 г. установлена положительная корреляционная зависимость сильной степени ($r = 0,73^{**}$), в 2020 г. связь отсутствует ($r = -0,09^{***}$). Тесная отрицательная связь выявлена между урожайностью семян первого г.п. и силой роста ($r = -0,88^*$) и положительная средней степени во второй г.п. ($r = 0,43^{***}$). Также на показатель силы роста семян существенное влияние оказывают величины органов проростков (длина ростка – $r = 0,73^{**}$ и $r = 0,74^{**}$, гипокотиль – $r = 0,70^{***}$ и $r = 0,76^{**}$, корешка – $r = 0,96^*$ и $r = 0,90^*$). Зависимость силы роста от длины ростка и корешка в 2020 г. представлена на рисунке 2.

При определении силы роста семян учитывается количество сильных проростков. В 2020 г. количество 3, 4 и 5-балльных проростков составило 72 % от общего числа проросших семян, в 2021 г. – 73 %. Соотношение сильных проростков у селекционных популяций по годам представлено на диаграммах (рисунок 3).

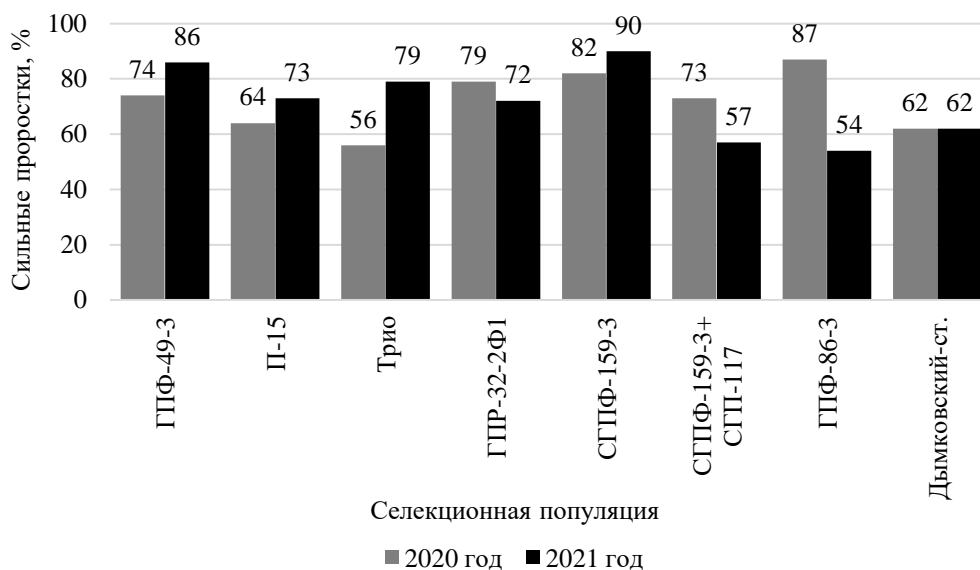


Рисунок 2 – Сила роста в зависимости от длины ростка ($r = 0,73$) и длины корешка ($r = 0,96$), 2020 г.

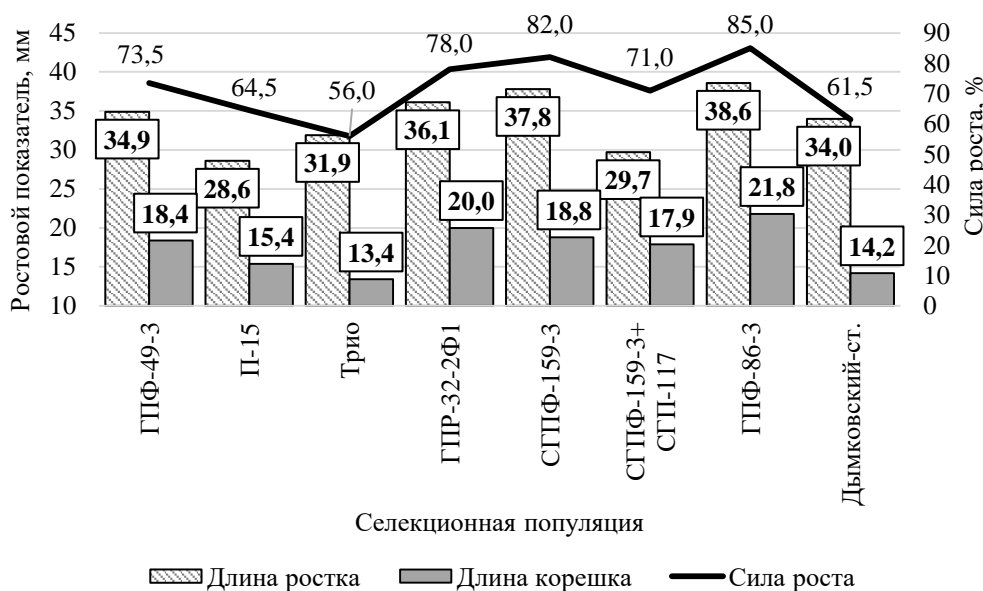


Рисунок 3 – Доля сильных проростков в популяциях клевера лугового, 2020 и 2021 гг.

В 2020 и 2021 гг. преобладали в основном 3-балльные проростки, на их долю пришлось 50 и 59 % соответственно. Количество 5-балльных проростков было значительно меньше (19 и 12 %). В 4 балла оценены лишь 2,5 и 2 % проростков. Слабых проростков в первый г.п. было в 2,5 раза больше, чем во второй г.п. и составило 9,5 и 6 % соответственно. Ненормально проросших семян, у которых росток свернут в кольцо, в 2020 г. не отмечено, в 2021 г. их менее 1 %. Количество непроросших семян (набухших, загнивших) по годам составляло 4 и 2 %.

Выводы

В результате проведённых исследований определено влияние на качество семян уровня увлажнения (ГТК) в фазы цветения и завязывания семян. Установлена тесная положительная корреляция между массой 1000 семян и значением ГТК в межфазный период «цветение–созревание» ($r = 0,75^{**}$ и $r = 0,78^{**}$). На качестве семенного

материала отразилась длительность хранения семян. У семян, прошедших период дозревания, после полутора лет хранения (урожай 2020 г.), энергия прорастания была выше (60,0–77,0 %), а доля твёрдых семян ниже (15,0–38,0 %) по сравнению с семенами свежего урожая (2021 г.), у которых энергия прорастания варьировала от 38,0 до 60,0 %, а твёрдых семян было 34,0–61,0 %.

Выделены селекционные популяции СГПФ-159-3 и ГПФ-49-3, отличающиеся равномерным ростом проростков по годам. У СГПФ-159-3 длина ростка составляла 37,8 и 37,1 мм, длина гипокотилия – 34,0 и 33,5 мм, длина корешка – 18,8 и 19,9 мм, суточный рост ростка достигал 5,4 и 2,7 мм, суточный рост корешка – 5,3 и 2,8 мм. У ГПФ-49-3 длина ростка – 34,9 и 35,4 мм, длина гипокотилия – 31,1 и 31,6 мм, длина корешка – 18,4 и 17,9 мм, суточный рост ростка и корешка – 5,0 и 2,6 мм; 5,0 и 2,5 мм.

У этих же популяций при высоком показателе всхожести отмечена наибольшая сила роста, достоверно превышающая стандарт. Индекс силы роста у СГПФ-159-3 составил 82,0 и 89,0 % (всхожесть 99,0 %), у ГПФ-49-3 – 73,5 и 86,5 % (всхожесть 100,0 %), при показателях сорта Дымковский 61,5 и 62,5 % (НСР₀₅ = 10,7 и 13,7 %), то есть можно спрогнозировать, что эти популяции способны дать хорошие всходы в полевых условиях. Также была выявлена тесная положительная корреляция между силой роста и ростовыми показателями проростков (длиной ростка $r = 0,73^{**}$ и $r = 0,74^{**}$, гипокотилия $r = 0,70^{***}$ и $r = 0,76^{**}$, корешка $r = 0,96^*$ и $r = 0,90^*$).

Среди исследованных селекционных популяций ГПФ-49-3, обладающая комплексом хозяйственно ценных признаков, в 2021 г. была передана на Государственное сортоиспытание как перспективный сорт Малахит.

Литература

1. Марченко Л. В. Влияние обработки биостимуляторами на посевные качества семян клевера лугового // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 8. С. 103–107.
2. Жаркова С. В., Чевычелова С. С., Новикова С. С. Формирование показателей всхожести и энергии прорастания семян у яровой мягкой пшеницы в разных средовых условиях // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (199). С. 5–10.
3. Jing S., Boelt B. Seed production of red clover (*Trifolium pratense* L.) under Danish field conditions // Agriculture. 2021. Vol. 11. Iss. 12. Art. No. 1289. DOI: 10.3390/agriculture11121289.
4. Jing S., Kryger P., Boelt B. Review of seed yield components and pollination conditions in red clover (*Trifolium pratense* L.) seed production // Euphytica. 2021. Vol. 217. Iss. 4. Art. No. 69. DOI: 10.1007/s10681-021-02793-0.
5. Боголюбова Е. В., Коняева Н. М. Качество семян клевера паннонского Премьер в условиях Западной Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 3. С. 34–42. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-3-5.
6. Киселев Н. П., Кормщицов А. Д., Никифорова Е. В., Прозорова И. Н., Прозоров В. А., Трапицын А. Е., Тумасова М. И., Тупицын В. А., Фигурин В. А., Чикилев А. А., Шитова З. С., Юрлова Т. Л. Вятские клевера. Киров: ГИПП «Вятка», 1995. 276 с.
7. Чухлебова Н. С., Дридигер В. К., Голубь А. С. Посевные качества и полевая всхожесть семян донника на чернозёме выщелоченном // Вестник АПК Ставрополя. 2014. № 4 (16). С. 207–212.
8. Зекич Н., Симич А., Вукович С. Влияние сроков хранения на качество семян лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) // Кормопроизводство. 2012. № 4. С. 25–26.
9. Карпин В. И. Условия хранения и посевные качества семян кормовых трав // Кормопроизводство. 2001. № 9. С. 26–28.
10. Сорока А. В., Шик А. С., Антонюк А. С., Костюченко Н. Н., Терлецкая Н. Ф. Влияние нетрадиционных способов предпосевной обработки на прорастание семян клевера лугового // Земледелие и селекция в Беларуси. 2017. № 53. С. 154–159.
11. Ларионов Ю. С., Горбатая А. П. Степень развития органов проростков семян бобовых культур как показатель их потенциальной продуктивности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 2 (88). С. 17–18.
12. Торопова Е. Ю., Рудёва Ю. В. Влияние агроэкологических факторов на силу роста семян зерновых культур в Новосибирской области // Вестник НГАУ. 2014. № 4 (33). С. 54–58.
13. Карпин В. И., Переправо Н. И., Золотарев В. Н., Рябова В. Э., Шамсутдинова Э. З. Методика определения силы роста семян кормовых культур. М.: Изд-во РГАУ–МСХА, 2012. 16 с.

14. Строна И. Г. Общее семеноведение полевых культур. М.: Колос, 1966. 464 с.
15. Каманина Л. А., Оборская Ю. В. Исследование эффективных методов определения силы роста семян сои // Вестник НГАУ. 2016. № 1 (38). С. 15–21.
16. Нелюбина Ж. С., Касаткина Н. И. Влияние ультрафиолетового облучения семян многолетних трав на их посевные качества // Аграрная наука. 2021. № 9. С. 97–100. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-352-9-97-100.
17. Скаженник М. А., Воробьев Н. В., Ковалев В. С., Гаркуша С. В., Пшеницына Т. С., Балясный И. В. Образование всходов риса и их связь с энергией прорастания и силой роста семян // Рисоводство. 2018. № 2 (39). С. 16–20.
18. Сушкевич А. В., Бурляева М. О. Оценка силы роста, энергии прорастания и морфологических показателей *Vigna radiata* (L.) на ранней стадии онтогенеза // Евразийский Союз Учёных. 2019. № 1 (58). С. 17–22. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.58.17-22.
19. Веллингтон П. Методика оценки проростков семян. М.: Колос, 1973. 175 с.
20. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1968. 336 с.
21. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С., Кондратьева Н. П., Руденко В. А. Влияние предпосевной обработки семян многолетних бобовых культур на их прорастание // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 5. С. 30–33. DOI: 10.30850/vrsn/2020/5/30-33.
22. Марченко Л. В., Григорьева Л. В. Морфофизиологические показатели проростков клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) // Агропродовольственная политика России. 2015. № 10 (46). С. 49–52.
23. Марченко Л. В. Посевные качества семян клевера лугового, репродуцированных в условиях Северного Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2014. № 8. С. 81–84.

References

1. Marchenko L. V. The effect of treatment with biostimulants on the sowing quality seeds of red clover // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2019. No. 8. P. 103–107.
2. Zharkova S. V., Chevychelova S. S., Novikova S. S. The formation of germination and seed vigor indices of spring soft wheat varieties under different environmental conditions // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2021. No. 5 (199). P. 5–10.
3. Jing S., Boelt B. Seed production of red clover (*Trifolium pratense* L.) under Danish field conditions // Agriculture. 2021. Vol. 11. Iss. 12. Art. No. 1289. DOI: 10.3390/agriculture11121289.
4. Jing S., Kryger P., Boelt B. Review of seed yield components and pollination conditions in red clover (*Trifolium pratense* L.) seed production // Euphytica. 2021. Vol. 217. Iss. 4. Art. No. 69. DOI: 10.1007/s10681-021-02793-0.
5. Bogolyubova E. V., Konyaeva N. M. Seed quality of Premier cultivar of Hungarian clover in the conditions of Western Siberia // Siberian Herald of Agricultural Science. 2018. Vol. 48. No. 3. P. 34–42. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-3-5.
6. Kiselev N. P., Kormshchikov A. D., Nikiforova E. V., Prozorova I. N., Prozorov V. A., Trapitsyn A. E., Tumasova M. I., Tupitsyn V. A., Figurin V. A., Chikilev A. A., Shitova Z. S., Yurlova T. L. Vyatka clovers. Kirov: GIPP “Vyatka”, 1995. 276 p.
7. Chukhlebova N. S., Dridiger V. K., Golub A. S. Sowing quality and germination seeds sweet clover on leached chernozem // Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2014. No. 4 (16). P. 207–212.
8. Zekich N., Simich A., Vukovich S. Effect of storage time on birds food trefoil (*Lotus corniculatus* L.) seed quality // Kormoproizvodstvo (Fodder Production). 2012. No. 4. P. 25–26.
9. Karpin V. I. Storage conditions and sowing qualities of fodder grass seeds // Kormoproizvodstvo (Fodder Production). 2001. No. 9. P. 26–28.
10. Soroka A. V., Shik A. S., Antonyuk A. S., Kostyuchenko N. N., Terletskaia N. F. Influence of non-traditional methods of presowing treatment on red clover seed germination // Arable Farming and Plant Breeding in Belarus. 2017. No. 53. P. 154–159.
11. Larionov Yu. S., Gorbataya A. P. The degree of development of organs of seedlings of seeds of legumes as an indicator of their potential productivity // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2012. No. 2 (88). P. 17–18.
12. Toropova E. Yu., Ruleva Yu. V. The effect of agroecological factors on the vigor of grain crop seeds growth in Novosibirsk region // Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2014. No. 4 (33). P. 54–58.
13. Karpin V. I., Perepravo N. I., Zolotarev V. N., Ryabova V. E., Shamsutdinova E. Z. Method for determining the growth force of seeds of fodder crops. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (RSAU – MTAA) Publ., 2012. 16 p.
14. Strona I. G. General seed science of field crops. Moscow: Kolos, 1966. 464 p.
15. Kamanina L. A., Oborskaya Yu. V. Exploitation of the effective methods of soya germination power // Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2016. No. 1 (38). P. 15–21.

16. Nelyubina Zh. S., Kasatkina N. I. Influence of ultraviolet irradiation of perennial grasses seeds on their sowing quality // Agrarian science. 2021. No. 9. P. 97–100. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-352-9-97-100.
17. Skazhennik M. A., Vorobyov N. V., Kovalev V. S., Garkusha S. V., Pshenitsyna T. S., Balyasny I. V. The formation of seedlings of rice and their relationship with germination power and power of seeds // Rice Growing. 2018. No. 2 (39). P. 16–20.
18. Sushkevich A. V., Burlyaeva M. O. Estimation of the growth, energy of spring and morphological of *Vigna radiata* (L.) indicators at the early stage of ontogenesis // EurasianUnionScientists. 2019. No. 1 (58). P. 17–22. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.58.17-22.
19. Wellington P. Method for assessing seed sprouts. Moscow: Kolos, 1973. 175 p.
20. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kolos, 1968. 336 p.
21. Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S., Kondratieva N. P., Rudenok V. A. Influence of pre-sowing seeds treatment of perennial legumes on their germination // Vestnik of the Russian Agricultural Science. 2020. No. 5. P. 30–33. DOI: 10.30850/vrsn/2020/5/30-33.
22. Marchenko L. V., Grigoryeva L. V. Morphophysiological parameters of seedlings of meadow clover (*Trifolium pratense* L.) // Agro-food policy in Russia. 2015. No. 10 (46). P. 49–52.
23. Marchenko L. V. The sowing qualities of red clover seeds reproduced in the Northern Trans-Urals Region conditions // Bulletin of KrasGAU. 2014. No. 8. P. 81–84.

UDC 633.321:631.531.011.2

Shikhova I. V., Arzamasova E. G., Popova E. V.

EVALUATION OF MORPHO-PHYSIOLOGICAL INDICATORS AND SOWING QUALITY OF *TRIFOLIUM PRATENSE* L. SEEDS AT THE EARLY STAGES OF DEVELOPMENT

Summary. *The study of seed viability is of great theoretical and practical interest. The purpose of the research was twofold: assess the influence of various weather conditions of the year and storage duration on the sowing qualities of red clover seeds; identify T. pratense populations with high morpho-physiological parameters of seedlings and seed vigor. For the study, we used seeds harvested in 2020 (the first year of use (y.u.)) and 2021 (the second y.u.) obtained in the Nursery for Assessing Seed Productivity, which was laid in 2019. A reliable positive correlation was established between the amount of precipitation in the flowering phase and the number of hard seeds ($r = 0.81^{**}$ and $r = 0.80^{**}$); negative one – between the precipitation and the germination energy ($r = -0.52^{***}$ and $r = -0.74^{**}$). There was a positive correlation between 1000 seeds weigh and values of Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) in the interphase period “flowering-maturation” ($r = 0.75^{**}$ and $r = 0.78^{**}$). It was revealed that freshly harvested seeds had low germination energy and greater number of hard seeds compared to those that had passed through post-harvesting ripening. When determining seed vigor, the growth indicators of seedlings were analyzed. The seeds of the 1st y.u. differed from those of the 2nd y.u. by a shorter sprout, hypocotyl and root on average by 1-2 mm. Both in 2020 and 2021, uniform growth of breeding populations ‘SGPF-159-3’ and ‘GPF-49-3’ was recorded. In 2020, populations ‘GPF-86-3’, ‘SGPF-159-3’, ‘GPR-32-2F1’ and ‘GPF-49-3’ significantly exceeded the standard (61.5 %, $LSD_{05} = 10.7\%$ and 62.5 %, $LSD_{05} = 13.7\%$) in terms of seed vigor (85.0; 82.0; 78.0 and 73.5 %, respectively); in 2021 – ‘SGPF-159-3’, ‘GPF-49-3’ and variety ‘Trio’ (89.0; 86.5 and 79.0 %, respectively). We noted a close correlation between seed vigor and growth indicators. Seeds with great vigor and high germination rates were obtained from red clover populations ‘SGPF-159-3’ (82.0 and 89.0 %) and ‘GPF-49-3’ (73.5 and 86.5 %).*

Keywords: *red clover (*Trifolium pratense* L.), breeding population, germination, germination energy, hard seed, seedlings, seed vigor, correlation coefficient.*

Шихова Ирина Витальевна, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства многолетних трав ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166 а; e-mail: travy@fanc-sv.ru.

Арзамасова Екатерина Геннадьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией селекции и первичного семеноводства многолетних трав ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166 а; e-mail: travy@fanc-sv.ru.

Попова Евгения Валериевна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства многолетних трав ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166 а; e-mail: travy@fanc-sv.ru.

Shikhova Irina Vitalievna, junior researcher, Laboratory of breeding and primary seed growing of perennial grasses, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 166 a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: travy@fanc-sv.ru.

Arzamasova Ekaterina Gennadievna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, head of the Laboratory of breeding and primary seed growing of perennial grasses, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 166 a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: travy@fanc-sv.ru.

Popova Evgenia Valeryevna, Cand. Sc. (Agr.), researcher, Laboratory of breeding and primary seed growing of perennial grasses, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 166 a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: travy@fanc-sv.ru.

Дата поступления в редакцию – 18.04.2022.

Дата принятия к печати – 25.07.2022.

Свободная цена