



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

ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

научный журнал

ISSN 2542-0720



№1 (33)
2023



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

ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

TAURIDA HERALD
OF THE AGRARIAN SCIENCES

№1 (33)

2023

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.site

Издатели:

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

ФГБУН «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. 18,37.
Заказ №06А/02.
Тираж 500 экз.

Подписано к печати 14.06.2023.

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: 14.06.2023
Дизайн и верстка - Н.С. Овчаренко,
Е.А. Дунаева
© ФГБУН «НИИСХ Крыма», 2023.
© Авторы статей, 2023.
© Авторы иллюстраций, 2023.

№1 (33), 2023

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Аблова И.Б., д.с.-х.н., член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко»; 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., ФГБНУ «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., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Калмыкова Е.В., д.с.-х.н., доцент, ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»; 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., ФГБНУ «ИКИ РАН»; Митрофанова И.В., член-корреспондент РАН, д.б.н., начальник отдела научно-инновационной и международной деятельности, ФГБНУ Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН; Мишнёв А.В., к.с.-х.н., ФГБНУ «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., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Немтинов В.И., д.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Остапчук П.С., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Паштецкий В.С., д.с.-х.н., директор ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Плугатарь Ю.В., д.с.-х.н., директор ФГБНУ «НБС-ННЦ»; Просянкина 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., ФГБНУ «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; Соболевский И.В., к.т.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Соколенко О.Н., к.т.н., ФГБОУ ВО «КубГАУ им. И.Т. Трубилина»; Тарасенко В.С., д.г.-м.н., профессор, ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Терлеев В.В., д.с.-х.н., профессор СПбПУ; Тимашёва Л.А., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Тихонович И.А., д.б.н., академик РАН, директор ФГБНУ «ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии»; Ткаченко О.Б., д.б.н., ФГБНУ «ГБС РАН»; Топунов А.Ф., д.б.н., профессор ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН; 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., ФГБНУ «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., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Дидович С.В., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Донник И.М., д.б.н., профессор, академик РАСХН, вице-президент РАН; Дунаева Е.А., к.т.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Мягих Е.Ф., к.б.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Овчаренко Н.С., к.б.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма» Паштецкий В.С., д.с.-х.н., директор ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Радченко Л.А., к.с.-х.н., ФГБНУ «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.site

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:

- 01.05.00 – Биологические науки
 - 01.05.11 – Микробиология
 - 01.05.20 – Биологические ресурсы
- 04.01.00 – Агрономия, лесное и водное хозяйство
 - 04.01.01 – Общее земледелие и растениеводство
 - 04.01.05 – Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика
 - 04.01.02 – Селекция, семеноводство и биотехнология растений
- 04.03.00 – Агроинженерия и пищевые технологии
 - 04.03.01 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

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).

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

Каждой статье, опубликованной в журнале, редакция издания присваивает идентификатор цифрового объекта EDN (eLIBRARY Document Number) и DOI (сервис Zenodo) через Open Science

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



zenodo
ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY



Google
Академия

АНТИПЛАГИАТ

СОДЕРЖАНИЕ

Гриб С. И., Богдан В. З. ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОЛОГИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ЛЬНА- ДОЛГУНЦА В БЕЛАРУСИ	6
Гулянов Ю. А., Поляков Д. Г. ЗАВИСИМОСТЬ ФИТОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕВЫХ АГРОЦЕНОЗОВ ОТ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ	19
Егорова Н. А., Ставцева И. В. ВЛИЯНИЕ ОСМОТИЧЕСКОГО И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СТРЕССОВЫХ ФАКТОРОВ НА РАЗВИТИЕ <i>SALVIA SCLAREA</i> L. В ЭМБРИОКУЛЬТУРЕ <i>IN VITRO</i>	34
Золотилов В. А., Невкрытая Н. В., Золотилова О. М., Мишнев А. В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАСТЕНИЙ КОЛЛЕКЦИИ РОЗЫ ЭФИРОМАСЛИЧНОЙ	51
Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНА БИОСИНТЕЗА МЕТИЛАНТРАНИЛАТА (FANAAMT) В ГЕНОПЛАЗМЕ СОРТОВ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ	63
Маслинская М. Е. НАКОПЛЕНИЕ МАСЛА В СЕМЕНАХ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОДА	70
Могилевская И. В. ЭФФЕКТИВНЫЕ СТЕРИЛИЗУЮЩИЕ ПРЕПАРАТЫ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ МИКРОБНОГО РОСТА НА ЭКСПЛАНТАХ <i>ROBINIA PSEUDOACACIA</i> L. <i>IN VITRO</i>	80
Семенова Д. А., Крахмалева И. Л., Мишанова Е. В., Молканова О. И., Митрофанова И. В. ОСОБЕННОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ <i>ACTINIDIA</i> <i>ARGUTA</i> В КУЛЬТУРЕ <i>IN VITRO</i>	93
Соболевский И. В., Куклин В. А., Калафатов И. И. ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ВЫРАВНИВАТЕЛЯ ДЛЯ СТЕРНЕВОГО КУЛЬТИВАТОРА	104
Тевфик А. Ш., Егорова Н. А., Коваленко М. С. ВЛИЯНИЕ ЛИМИТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА РАЗВИТИЕ ЭКСПЛАНТОВ <i>THYMUS SERPYLLUM</i> L. И <i>THYMUS CAUCASICUS</i> WILLD. НА ПЕРВОМ ЭТАПЕ МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ <i>IN VITRO</i>	113
Тулякова М. В., Баталова Г. А., Салтыков С. С., Пермякова С. В. УРОЖАЙНОСТЬ И АДАПТИВНАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБРАЗЦОВ ОВСА ПЛЕНЧАТОГО В УСЛОВИЯХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ	125
Чайковская Л. А., Якушева Н. Н., Овсиенко О. Л., Баранская М. И. ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ СОВМЕСТНОМ ПРИМЕНЕНИИ МИКРОБНОГО ПРЕПАРАТА И МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ	135
Юсова О. А., Николаев П. Н. СЕЛЕКЦИЯ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО ЗЕРНА	148

CONTENTS

Grib S. I., Bogdan V. Z. OPTIMIZATION OF THE METHODOLOGY AND RESULTS OF FLAX BREEDING IN BELARUS	6
Gulyanov Yu. A., Polyakov D. G. DEPENDENCE OF PHYTOMETRIC PARAMETERS OF AGROCENOSES ON AGROPHYSICAL INDICATORS OF SOIL	19
Yegorova N. A., Stavtzeva I. V. INFLUENCE OF OSMOTIC AND LOW-TEMPERATURE STRESS FACTORS ON THE DEVELOPMENT OF <i>SALVIA SCLAREA</i> L. IN EMBRYOCULTURE <i>IN VITRO</i>	34
Zolotilov V.A., Nevkrytaya N.V., Zolotilova O.M., Mishnev A.V. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRUCTURAL ELEMENTS OF PLANTS FROM THE ESSENTIAL-OIL-BEARING ROSE COLLECTION	51
Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V. IDENTIFICATION OF METHYL ANTHRANILATE BIOSYNTHESIS GENE (FANAAMT) IN THE GENOPLASM OF STRAWBERRY VARIETIES	63
Maslinskaya M. E. ACCUMULATION OF OIL IN LINSEEDS DEPENDING ON THE METEOROLOGICAL CONDITIONS OF THE YEAR	70
Mogilevskaya I. V. EFFECTIVE STERILIZING PREPARATIONS FOR SUPPRESSING MICROBIAL GROWTH ON <i>ROBINIA PSEUDOACACIA</i> L. EXPLANTS <i>IN VITRO</i>	80
Semenova D. A., Krakhmaleva I. L., Mishanova E. V., Molkanova O. I., Mitrofanova I. V. FEATURES OF REGENERATION <i>IN VITRO</i> IN PROMISING <i>ACTINIDIA ARGUTA</i> CULTIVARS	93
Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Kalafatov I. I. JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS OF WORKING BODIES OF THE LEVELER FOR STUBBLE CULTIVATOR	104
Tevfik A. Sh., Yegorova N. A., Kovalenko M. S. INFLUENCE OF LIMITING FACTORS ON THE DEVELOPMENT OF <i>THYMUS SERPYLLUM</i> L. AND <i>THYMUS CAUCASICUS</i> WILLD. EXPLANTS AT THE FIRST STAGE OF MICROPROPAGATION <i>IN VITRO</i>	113
Tulyakova M. V., Batalova G. A., Saltykov S. S., Permyakova S. V. PRODUCTIVITY AND ADAPTIVE ABILITY OF FILMY OAT SAMPLES UNDER CONDITIONS OF THE KIROV REGION	125
Chaikovskaya L. A., Iakusheva N. N., Ovsienko O. L., Baranskaya M. I. YIELD AND QUALITY INDICATORS OF WINTER WHEAT GRAIN IN THE CONTEXT OF COMBINED USE OF A MICROBIAL PREPARATION AND MINERAL FERTILIZER	135
Yusova O. A., Nikolaev P. N. SPRING BARLEY BREEDING TO IMPROVE GRAIN QUALITY INDICATORS	148

УДК 633.521:631.527(476)
DOI: 10.5281/zenodo.7896477
EDN: QMWGIE

Гриб С. И.¹, Богдан В. З.²

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОЛОГИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА В БЕЛАРУСИ

¹РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»;

²Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна»

Реферат. *Динамичное развитие льноводства обусловлено необходимостью создания конкурентоспособной продукции из высококачественного сырья. Сорт – один из важнейших элементов в технологической цепи по производству сырья для последующей переработки. Цель исследований – усовершенствование приемов методологии селекционного процесса льна-долгунца, выделение генетических источников хозяйственно ценных признаков, создание нового селекционного материала и высокопродуктивных сортов, адаптированных к почвенно-климатическим условиям Республики Беларусь. Исследования проводили в 1996–2021 гг. на опытных участках РУП «Институт льна» (Оршанский район Витебской области Республики Беларусь) на дерново-подзолистой почве с использованием общепринятых методов анализа и стандартных методик сортоизучения. В результате изучения созданной в РУП «Институт льна» национальной коллекции генофонда льна-долгунца, включающей 628 образцов из 33 стран мира, выделены генетические источники важнейших хозяйственно ценных признаков: скороспелости – 91 образец (61–77 дней), высокой урожайности тресты – 57 (613,9–928,2 г/м²), волокна – 60 (177,9–317,9 г/м²), семян – 81 (123,8–194,2 г/м²), с высоким содержанием волокна – 205 (28,1–36,4 %) и качеством длинного трепаного волокна – 55 (номера волокна 12-13), устойчивости к фузариозному увяданию – 76 (развитие болезни менее 20 %) и полеганию – 175 (4,5–5,0 баллов). Использование в селекции льна-долгунца новых методологических подходов для оценки и отбора генотипов (электронная сканирующая микроскопия, электрофорез, ДНК-маркирование) в сочетании с традиционными методами гибридизации и отбора способствовали созданию 14 сортов льна-долгунца, дифференцированных по продолжительности вегетационного периода: восемь раннеспелых (Пралеска, Ярок, Левит 1, Веста, Ласка, Грант, Маяк, Дукат), четыре среднеспелых (Ива, Лада, Рубин, Алтын) и два позднеспелых (Мара и Талер). Созданные сорта характеризуются высокими показателями урожайности (тресты – 46,1–66,0 ц/га, волокна – 13,5–21,6 ц/га) и качества льнопродукции, устойчивостью к полеганию (4,0–5,0 баллов) и фузариозному увяданию (у 10 из 14 сортов развитие болезни менее 20 %). Все сорта включены в Госреестр Республики Беларусь. Пять сортов (Пралеска, Левит 1, Ласка, Веста, Грант) включены в Госреестр селекционных достижений Российской Федерации.*

Ключевые слова: лён-долгунец (*Linum usitatissimum* L.), селекция, сорт, исходный материал, образец, источники хозяйственно-ценных признаков, анатомо-морфологические, биохимические и физико-химические методы анализа, электрофорез.

Для цитирования: Гриб С. И., Богдан В. З. Оптимизация методологии и результаты селекции льна-долгунца в Беларуси // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 6–18. DOI: 10.5281/zenodo.7896477. EDN: QMWGIE.

For citation: Grib S. I., Bogdan V. Z. Optimization of the methodology and results of flax breeding in Belarus // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2023. No. 1(33). P. 6–18. DOI: 10.5281/zenodo.7896477. EDN: QMWGIE.

Введение

Лён-долгунец в Республике Беларусь является традиционной национальной прядильной культурой. В настоящее время представление о престижности возделывания этой культуры меняется не только в Республике Беларусь, но и в европейских странах. По объемам производства льноволокна Беларусь занимает третье место в мире после Франции и Бельгии. Белорусский лен хорошо известен в сопредельных странах (Россия, Украина, Литва) и некоторых странах дальнего зарубежья (Китай, Турция). Поэтому динамичное развитие льноводства обусловлено необходимостью создания конкурентоспособной продукции из высококачественного сырья. Одним из факторов конкурентоспособности является производство высококачественного сырья в процессе возделывания льна. Селекционная работа по льну, а точнее ее результат – сорт – является одним из важнейших элементов в многозвенной технологической цепи по производству сырья для последующей переработки [1, 2].

Селекция льна-долгунца в Республике Беларусь, начатая в 1926 г., связана с именами известных ученых К. Г. Ренарда, М. И. Афолина, В. И. Рубана, А. М. Богука, Л. Н. Каргопольцева, Л. В. Ивашко и др. [3]. Такие белорусские «бренды», как Оршанский 2, Могилевский известны далеко за пределами нашей республики. В настоящее время в научно-исследовательских учреждениях Беларуси, занимающихся селекцией льна-долгунца (Институт льна и Могилевская областная сельскохозяйственная опытная станция), накоплен обширный опыт по созданию высокопродуктивных сортов [3–5].

Селекция – инновационный процесс, направленный на повышение эффективности производства качественной продукции растениеводства, в том числе льна-долгунца. Совершенствование методологии селекции льна-долгунца служит инструментом прогресса и вносит в селекционный процесс элементы инновационности исследований, что является одним из приоритетов развития аграрной науки в Республике Беларусь.

Основными приоритетами селекции полевых культур в Беларуси на современном этапе определены: повышение адаптивного потенциала устойчивости к абиотическим и биотическим стрессовым факторам в сочетании с высокой продуктивностью, качеством продукции, ресурсоэффективностью и экологической безопасностью [6, 7]. Этим приоритетам полностью соответствуют исследования по созданию сортов льна-долгунца в Институте льна.

На современном этапе развития селекции основными компонентами оптимизации методологии создания сортов льна-долгунца являются: формирование и изучение национального генофонда, выделение источников хозяйственно ценных признаков, создание нового селекционного материала, выделение доноров и трансгрессий, различные способы отбора генотипов на основе выраженности хозяйственно полезных признаков на всех этапах селекционного процесса с использованием анатомо-морфологических, биохимических, молекулярно-генетических и физико-химических методов анализа.

Основополагающей базой любого селекционного процесса служит генофонд. Генетические ресурсы растений являются наиболее ценным и стратегически важным капиталом любой страны, так как непосредственно связаны с решением продовольственной, природоохранной и биологической безопасности в настоящем и будущем [8–10]. Сохранение, изучение и использование зародышевой плазмы растений в большинстве стран мира рассматриваются как единая национальная

задача и служат основой успеха в развитии устойчивого сельскохозяйственного производства [11–15].

Цель исследований – усовершенствовать приемы методологии селекционного процесса льна-долгунца, выделить генетические источники хозяйственно ценных признаков, создать новый селекционный материал и высокопродуктивные сорта, адаптированные к почвенно-климатическим условиям Республики Беларусь.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в течение 1996–2021 гг. на опытных участках РУП «Институт льна» (Оршанский район Витебской области, Республика Беларусь) на дерново-подзолистой почве, развивающейся на среднем лессовидном суглинке, подстилаемом на глубине 1 метр мореным суглинком. Агрохимические показатели пахотного слоя: рН (в КСl) – 4,81–6,02 (ГОСТ 26483-85), содержание гумуса – 1,81–1,97 % (ГОСТ 26213-91 р. 1), фосфора – 158,3–184,0 мг/кг, калия – 207,5–261,8 мг/кг почвы (ГОСТ 26207-91).

Объектом исследований являлась культура льна-долгунца, предметом исследований – образцы мирового генофонда – источники хозяйственно ценных признаков, совершенствование приемов методологии оценки селекционного материала, создание новых сортов.

Метеорологические условия в годы проведения исследований различались по гидротермическому режиму: шесть лет были оптимальными (ГТК – 1,37–1,60), девять лет – избыточно влажными (ГТК – 1,74–2,50), семь лет – с недостаточным увлажнением (ГТК – 1,03–1,30), по два года – засушливые (ГТК – 1,00) и очень засушливые (ГТК – 0,68–0,70) (рисунок 1). Это позволило объективно оценить исходный и селекционный материал льна-долгунца.

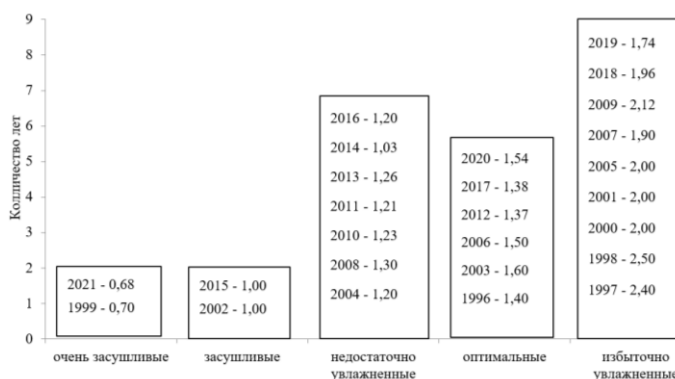


Рисунок 1 – Гидротермический коэффициент периода вегетации льна-долгунца

Полевые опыты проводили в соответствии с «Методическими указаниями по селекции льна-долгунца» [16], «Методическими указаниями по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.)» [17], «Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [18]. Полученные результаты исследований анализировали методами биологической статистики (дисперсионный, корреляционный, регрессионный) [19] с использованием пакета программ анализа данных Microsoft Excel и Statistica 10.0.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 2 представлена схема оптимизации методологии селекционного процесса льна-долгунца в РУП «Институт льна».

Созданная в процессе исследований национальная коллекция генофонда льна-долгунца включает 628 образцов различного эколого-географического происхождения

и представлена 33 странами мира. Его изучение позволило выделить генетические источники наиболее важных хозяйственно ценных признаков (таблица 1).

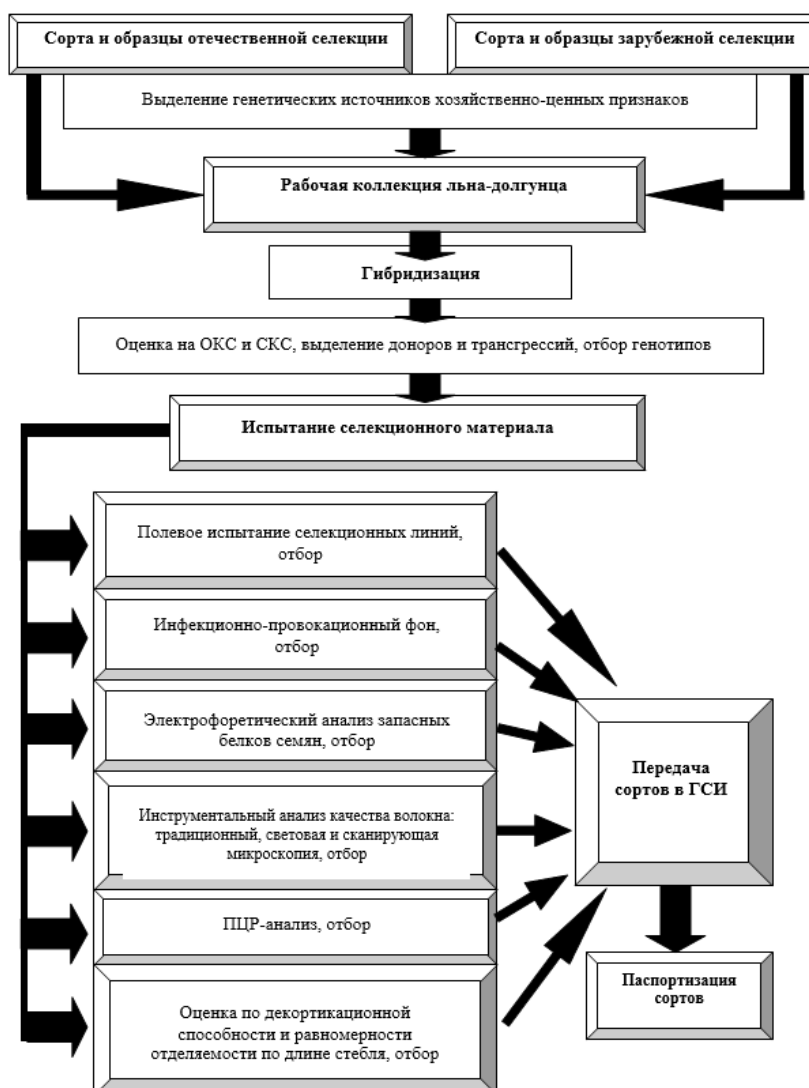


Рисунок 2 – Схема оптимизации методологии селекционного процесса льна-долгунца в РУП «Институт льна»

Таблица 1 – Источники хозяйственно ценных признаков в национальной коллекции генофонда льна-долгунца, созданной в РУП «Институт льна»

Признак	Количество образцов, шт.	Градация признака
Раннеспелость, дней	91	61–77
Высота растений, см	75	88,7–106,1
Урожайность тресты, г/м ²	57	613,9–928,2
Урожайность волокна, г/м ²	60	177,9–317,9
Урожайность семян, г/м ²	81	123,8–194,2
Содержание общего волокна, %	205	28,1–36,4
Номер длинного трепаного волокна	55	12–13
Устойчивость к полеганию, балл	175	4,5–5,0
Развитие фузариозного увядания, %	76	< 20
Комплекс признаков	194	сочетание трех и более признаков

Среди них источники высокой урожайности: льнотресты – сорта украинской селекции (Гліну́м, Поліський 5, Глазур, Львівський 7 – 562,2–584,0 г/м²), западноевропейской (Drakkar, Suzanne, Silva, Aramis – 561,7–673,0 г/м²), отечественные сорта Лада, Талер (594,4–600,0 г/м²), а также льноволокна – современные сорта белорусской (Веста, Лада, Талер – 169,1–182,4 г/м²) и западноевропейской селекции (Drakkar, Suzanne, Eden, Aramis – 185,0–243,7 г/м²).

Ряд образцов выделен в качестве источников высокой урожайности длинного волокна (Гліну́м, Alizee, С-108, Тонус, Норд – 128,3–202,0 г/м²) благодаря более высокому его содержанию в стеблях (28,0–30,0 %). Источниками скороспелости являются кряжевые формы из России (Печерский кряж, Велижский кряж, Дальневосточный кряж), образцы ВИР-12, ВИР-13, ВИР-14, ВИР-17 (Россия); литовские образцы В-150, В-154, В-192 и др. В качестве источников скороспелости с высокой урожайностью тресты и волокна выделены сорта Вита, Ярок (Беларусь), образцы Гліну́м, Персей (Украина), Алексим (Россия), Балтучяй (Литва) и другие.

Высокой устойчивостью к полеганию характеризуются сорта и образцы белорусского происхождения – Ярок, Веліч, Призыв 2, Грант, Прамень, Лада, Мара, Малахит, Дукат; российские образцы – Кром, Надежный, Добрыня, Норд, Александрит; образцы западноевропейской селекции – Madonna, Noblesse, Laura, Marina (Нидерланды), Versailles, Aramis, Eden (Франция), образцы из США – Rust Resistant, Dillman, Китая – Heiya12, Heiya13, Heiya14, Xinying 2.

Выделен относительно устойчивый к фузариозному увяданию исходный материал (степень развития болезни на искусственном инфекционно-провокационном фоне до 20 %): Гамма, Оршанский 2, Веста, Блакит, Весна (Беларусь), И-9, донор устойчивости к фузариозу из К-6746 (Япония), Л-1120 (Россия), Поліський 5, Каменяр, Блакитний, Український ранній (Украина), Silva (Франция), CI 687 (Dillman) (США).

В коллекции льна-долгунца выявлены образцы, характеризующиеся высоким качеством длинного трепаного волокна. Высоким средним номером волокна характеризуются образцы Гамма (Беларусь), Hercules (Швеция), Мрія (Украина), К-07-107, Л-1120, ВНИИЛ-9 (Россия) и другие, волокно которых обладает высокой крепостью (разрывная нагрузка – 245,8–302,0 Н). Высокую гибкость имеют российские образцы К-07-107 (57,0 мм), Tekirdag (54,3 мм) и украинский сорт Мрія (51,7 мм).

Выделенные источники хозяйственно ценных признаков являются базовыми компонентами различных типов скрещиваний, выполненных в объеме более 1300 комбинаций. На основе комплекса селекционных оценок в полевых условиях и лабораторных анализов, целенаправленных отборов на различных этапах селекционного процесса, создано 14 сортов льна-долгунца, дифференцированных по продолжительности вегетационного периода: восемь раннеспелых (Пралеска, Ярок, Левит 1, Веста, Ласка, Грант, Маяк, Дукат), четыре среднеспелых (Ива, Лада, Рубин, Алтын) и два позднеспелых (Мара и Талер) (таблица 2).

В создании сортов было задействовано 18 исходных родительских форм: 11 – белорусской селекции и семь – зарубежной. Анализ родословных созданных сортов показывает, что белорусский сорт Вита характеризуется наибольшей сортообразующей способностью. Он участвовал в создании восьми сортов. Сорта Весна, Блакит и Призыв 81 (Беларусь) были задействованы в гибридизации при создании трех сортов, Ярок (Беларусь), Томский 17 и К-6 (Россия) – в создании двух сортов. В гибридизацию привлекались также белоцветковые образцы, обладающие рядом положительных свойств. Так при создании сорта Левит 1 в качестве отцовской формы (♂) был взят белорусский позднеспелый сорт К-65,

характеризующийся белой окраской лепестков, высокой устойчивостью к полеганию и фузариозному увяданию. Сорт Грант создан в результате гибридизации голубоцветкового сорта Вита (♀) и белоцветкового сорта Лаура (♂), характеризующегося высоким выходом и качеством волокна. При создании сорта Лада в качестве отцовской формы (♂) использовали селекционную линию, полученную в результате скрещивания сортов (♀ Призыв 81 × ♂ Л-41). Селекционная линия характеризуется высокой устойчивостью к полеганию, унаследованной от белоцветкового сорта Л-41, высоким выходом и качеством волокна, характерной сорту Призыв 81.

Таблица 2 – Система сортов льна-долгунца, дифференцированных по продолжительности вегетационного периода, созданных в РУП «Институт льна»

Сорт	Образцы генофонда, участвующие в создании сорта	Шифр родоначального растения	Поколение и год отбора родоначального растения	Год создания сорта
Раннеспелые (72–75 суток)				
Пралеска	Оршанский 2, Ника (РБ), nameless K-512*, nameless K-486* (РФ)	10И ₂₋₄₋₁₋₆	F ₄ , 1989	1998
Ярок	М-8 (РБ), Томский 17 (РФ)	12Р ₃₋₂₋₇₋₃₋₅	F ₅ , 1997	2004
Левит 1	К-65 (РБ), Томский 17 (РФ)	3Р ₁₋₃₋₁₋₅₋₅	F ₅ , 1997	2005
Веста	Призыв 81, Вита (РБ), К-6 (РФ)	4Т ₅₋₉₋₁₋₆	F ₄ , 2000	2007
Ласка	Призыв 81, Вита (РБ), К-6 (РФ)	4Т ₅₋₃₋₂₋₄	F ₄ , 2000	2007
Грант	Вита (РБ), Лаура (Нидерланды)	12Х ₆₋₁₋₂₋₃₋₃	F ₅ , 2004	2010
Маяк	Весна (РБ), И-9 (РФ)	80Е ₆₋₁₋₂	F ₃ , 2006	2013
Дукаг	Весна, Ярок (РБ)	1Ю ₇₋₆₋₃₋₃₋₁	F ₅ , 2009	2015
Среднеспелые (76–81 суток)				
Ива	Вита (РБ), Томский 18 (РФ)	5П ₇₋₁₋₆₋₃₋₂₃	F ₅ , 1997	2004
Лада	Вита, Призыв 81, Л-41 (РБ)	5Х ₁₋₂₋₂₋₇₋₆	F ₅ , 2004	2011
Рубин	Вита, Весна (РБ)	1Э ₄₋₂₋₂₋₆₋₂	F ₅ , 2008	2013
Алтын	Блакит, Вита, Люда (РБ)	20Ю ₂₋₁₋₂₋₇₋₃	F ₅ , 2009	2017
Позднеспелые (82–86 суток)				
Мара	Вита, Блакит (РБ)	5Ш ₇₋₁₋₄₋₃₋₆	F ₅ , 2007	2012
Талер	Блакит, Ярок (РБ)	18Ю ₁₋₆₋₂₋₇₋₃₋₁	F ₆ , 2010	2015

Примечание. * – указаны номера каталога ВИР (г. Санкт-Петербург, Россия).

Одним из эффективных методов идентификации сортов является контроль внутривидовой изменчивости по белкам-маркерам, а точнее – по электрофоретическим спектрам (ЭФС) многокомпонентного полиморфного белка семени. Его применение позволяет выявить различия, не связанные с условиями среды. Белковые маркеры могут быть использованы в сочетании с другими методами селекции на всех этапах селекционного процесса – от поиска источников для селекции до регистрации получаемых сортов, семеноводства, сортового контроля и контроля качества продукции [20].

Методика электрофоретического анализа (ЭФА) запасных белков семян для культуры льна-долгунца была впервые адаптирована в Республике Беларусь в 2012 г. Впоследствии разработана схема использования ЭФА на всех этапах селекционного процесса. Электрофоретический спектр при этом рассматривается как селекционный признак. Использование ЭФА в селекционном процессе позволяет оценить генетическую однородность материала и эффективность отбора [21].

Разработанную методику и схему использования ЭФС запасных белков семян применяли при оценке сортообразцов льна-долгунца в питомнике селекционного

сортоиспытания в сочетании с анализом морфологических и хозяйственно ценных признаков. Результатом явилось создание сорта Мара. Сорт характеризуется двумя биотипами запасных белков. Первый биотип состоит из 51 компонента, второй – из 34 компонентов, из которых по 11 компонентов являются наиболее выраженными. Это свидетельствует об относительной сбалансированности генотипа по проявлению основных хозяйственно ценных признаков.

Морфологические и анатомические признаки стебля льна находятся в тесной взаимосвязи. Строение элементарных волокон на поперечном срезе стебля также свидетельствует о качестве волокна. Использование инструментального метода для анатомо-морфометрического анализа на основе световой и сканирующей микроскопии расширяет информацию об ультраструктурных особенностях стебля и элементарных волокон у селекционных образцов и сортов льна-долгунца, различных по продуктивности, качеству волокна и другим хозяйственно полезным признакам [22].

Применение комплексного подхода, включающего световую и сканирующую электронную микроскопию в сочетании с компьютерным анализом полученных изображений, в оценке селекционных образцов льна-долгунца по признакам волокнистости и качества волокна обеспечило создание сорта Грант [23].

По показателям анатомии элементарных волокон и строению волокнистых пучков сорт Грант превзошел контрольные сорта и родительские генотипы. Волокнистые пучки овальной формы, сформированы хорошо, без заливов. Элементарные клетки гранёной формы, стенки толстые с небольшим просветом (рисунок 3). Сорт характеризуется небольшим диаметром стебля (1,49 мм); большим числом пучков (30 шт.) и волокон на срезе (900 шт.), что позволяет судить о высокой тонине элементарных волокон, а низкий процент лигнификации (0,4 % от общего числа волокон на срезе) свидетельствует о высокой эластичности и мягкости волокна и, соответственно, о высоком качестве будущей ткани.

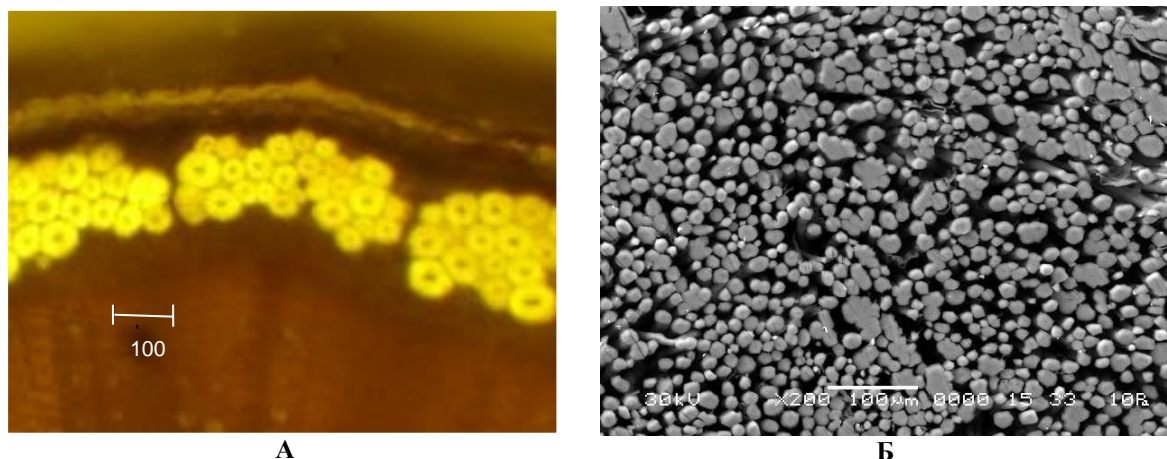


Рисунок 3 – Анатомо-морфологическое строение элементарных волокон сорта Грант: А – световая микроскопия (15×16), Б – электронная микроскопия (×200)

Кроме высокой волокнистости сорт Грант имеет толстые клеточные стенки с небольшим просветом, что делает волокно более прочным, а получаемые ткани менее мнущимися. Перечисленные характеристики свидетельствуют о высоком качестве льноволокна.

Генетическая оригинальность созданных сортов льна-долгунца подтверждена ДНК-маркированием. Генетические паспорта на основе SSR-маркеров разработаны для всех 14 созданных сортов льна-долгунца [24, 25].

Созданные нами 14 сортов льна-долгунца по данным государственного сортоиспытания характеризуются высокими показателями урожайности льнопродукции (таблица 3).

Так, средняя урожайность льноволокна варьировала от 13,5 ц/га у сорта Дукат до 21,6 ц/га у сорта Лада, семян от 5,9 ц/га у сорта Ярок до 10,1 ц/га у сорта Мара. Высоким содержанием общего волокна характеризовались сорта Левит 1 (35,2 %), Ярок (33,2 %), Лада (33,1%), Ива (32,2 %). Высокий выход длинного волокна обеспечили сорта Ласка (19,4 %), Грант (19,1 %), Ярок и Веста (18,3 %). Высокой устойчивостью к полеганию (4,5–5,0 баллов) характеризуются девять сортов, средней устойчивостью (4,0–4,4 баллов) – пять сортов. По устойчивости к фузариозному увяданию в условиях инфекционно-провокационного фона 10 из 14 созданных сортов характеризуются как высокоустойчивые (развитие болезни менее 20 %), сорта Мара и Ива – среднеустойчивые (развитие болезни 26,0–26,7 %).

По результатам государственного сортоиспытания созданные 14 сортов льна-долгунца включены в Госреестр Республики Беларусь. Пять сортов (Пралеска, Левит 1, Ласка, Веста, Грант) включены в Госреестр селекционных достижений Российской Федерации. Авторские права на сорта Пралеска, Ива, Ярок, Левит 1, Ласка, Веста и Грант защищены патентами Республики Беларусь [5, 26, 27].

Экономическая оценка созданных сортов льна-долгунца показывает, что их возделывание является высокорентабельным. Наиболее перспективными в этом отношении являются сорта Грант, Лада, Мара, Маяк, Рубин. Использование новых сортов позволяет повысить урожайность льнотресты на 9,0–18,5 ц/га, уровень рентабельности до 72,0–94,7% и снизить удельные затраты на 15,8–76,4 руб./усл. тонну льнопродукции [5].

Таблица 3 – Продуктивность и устойчивость белорусских сортов льна-долгунца селекции РУП «Институт льна»

Сорт	Годы государственного испытания	Урожайность, ц/га				Содержание волокна, %		Устойчивость к полеганию, балл	Развитие фузариоза на ИПФ, %	Год включения в Госреестр
		семян	тресты	общего волокна	длинного волокна	общего	длинного			
Раннеспелые (72–75 суток)										
Пралеска	1999–2001	6,2	54,0	16,5	9,1	30,5	16,8	4,0	6,0	2002
Ярок	2005–2007	5,9	48,5	16,1	8,9	33,2	18,3	4,3	11,3	2008
Левит 1	2006–2008	6,2	48,1	16,9	8,4	35,2	17,5	4,5	15,0	2009
Веста	2008–2010	7,8	50,1	16,2	9,5	31,3	18,3	4,0	18,0	2011
Ласка	2008–2010	7,0	55,1	17,4	10,6	31,8	19,4	4,1	14,0	2011
Грант	2011–2013	9,1	64,4	19,4	12,3	30,2	19,1	4,6	11,0	2014
Маяк	2014–2016	8,5	59,0	18,2	8,4	30,8	14,2	5,0	31,0	2017
Дукат	2016–2018	7,5	46,1	13,5	7,0	30,0	15,1	4,9	17,0	2019
Среднеспелые (76–81 суток)										
Ива	2005–2007	7,0	49,5	15,9	8,2	32,2	16,6	4,6	26,7	2008
Лада	2012–2014	9,1	65,3	21,6	10,3	33,1	15,7	4,4	11,0	2015
Рубин	2014–2016	8,8	56,5	16,4	7,7	29,0	13,7	5,0	43,0	2017
Алтын	2018–2020	6,3	55,1	15,2	7,8	27,5	14,1	4,5	14,0	2021
Позднеспелые (82–86 суток)										
Мара	2013–2015	10,1	66,0	18,6	10,9	28,2	16,5	4,5	26,0	2016
Талер	2016–2018	7,2	49,2	15,4	7,1	31,3	14,4	4,9	14,0	2019

Востребованность созданных сортов сельскохозяйственным производством отражается в позитивной динамике их возделывания. В течение 2015–2020 гг. посевные площади под новыми сортами увеличились в 5,5 раза (с 5,1 до 27,9 тыс. га). В 2021 г. созданные сорта, составляя в Госреестре 22 % от всех включенных, занимали в производстве 56,6 % при площади посева 23,8 тысяч гектаров.

Выводы

Оптимизация методологии селекционного процесса льна-долгунца, основанная на использовании нового генофонда, разнообразных методов оценки и отбора генотипов (электрофорез запасных белков семян, сканирующая микроскопия, ПЦР-анализ) расширяет и углубляет знания о культуре и повышает эффективность селекции.

В процессе изучения созданной в РУП «Институт льна» Беларуси национальной коллекции генофонда льна-долгунца включающей 628 образцов из 33 стран мира выделены генетические источники основных хозяйственно ценных признаков: скороспелости – 91 образец (61–77 дней), высокой урожайности тресты – 57 (613,9–928,2 г/м²), волокна – 60 (177,9–317,9 г/м²), семян – 81 (123,8–194,2 г/м²), с высоким содержанием волокна – 205 (28,1–36,4%) и качеством длинного трепаного волокна – 55 (номер волокна 12-13), устойчивости к фузариозному увяданию – 76 (развитие болезни менее 20 %) и полеганию – 175 (4,5–5,0 баллов).

На основе нового генофонда методом гибридизации и многократного индивидуального отбора в сочетании с применением новых аналитических и инструментальных методов в течение 1996–2021 гг. создана система взаимодополняющих для условий Беларуси сортов льна-долгунца, дифференцированных по продолжительности вегетационного периода (раннеспелые: Пралеска, Ярок, Левит 1, Ласка, Веста, Грант, Маяк, Дукат; среднеспелые: Ива, Лада, Рубин, Алтын; позднеспелые Мара, Талер). Созданные сорта характеризуются высокими показателями урожайности (тресты – 46,1–66,0 ц/га, волокна – 13,5–21,6 ц/га) и качества льнопродукции, устойчивостью к полеганию (4,0–5,0 баллов) и фузариозному увяданию (у 10 из 14 сортов развитие болезни менее 20%). Пять сортов (Пралеска, Левит 1, Ласка, Веста, Грант) включены в Госреестр селекционных достижений Российской Федерации.

Литература

1. Самсонов В. П., Богдан В. З. Сорт – важнейший фактор повышения эффективности льноводства // Земляробства і ахова раслін. 2011. № 6. С. 78–80.
2. Кишлян Н. В., Мельникова Н. В., Рожмина Т. А. Механизм адаптации льна-долгунца к повышенной кислотности почвы // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 4. С. 205–212. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-205-212.
3. Богдан В. З., Богдан Т. М., Королев К. П. Селекция льна-долгунца в Беларуси: направления, результаты, перспективы // Земледелие и защита растений. 2016. № 6. С. 33–36.
4. Хамутовский П. Р., Хамутовская Е. М., Шульга В. А., Балашенко Д. В. Характеристика новых сортов льна-долгунца селекции РУП «Могилевская ОСХОС НАН Беларуси» // Земледелие и растениеводство. 2022. № 3. С. 47–50.
5. Богдан В. З. Новые сорта льна-долгунца и их экономическая оценка // Земледелие и растениеводство. 2023. № 1. С. 45–49.
6. Гриб С. И. Приоритеты стратегии и направления селекции полевых культур в Беларуси // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня основания РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси» по земледелию «Стратегия и приоритеты развития земледелия и селекции полевых культур в Беларуси». Минск: Национальная академия наук Беларуси, Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, 2017. С. 214–216.
7. Литарная М. А., Богдан В. З. Оценка адаптивности образцов коллекции льна-долгунца по урожайности общего волокна // Земледелие и селекция в Беларуси. 2022. Вып. 58. С. 452–457.

8. Рожмина Т. А., Жученко А. А. мл., Мельникова Н. В., Смирнова А. Д. Устойчивость образцов генофонда льна к эдафическому стрессу // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 2. С. 133–140. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.133-140.
9. Королев К. П., Боме Н. А. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по экологической адаптивности и стабильности в условиях северо-восточной части Белоруссии. Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 615–621. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.615rus.
10. Павлова Л. Н., Герасимова Е. Г., Румянцева В. Н., Кудрявцева Л. П. Новые сорта льна-долгунца – основа повышения эффективности отрасли льноводства. Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы: научное пособие. Тверь: Тверской государственный университет, 2018. С. 23–25.
11. Привалов Ф. И. Генетические ресурсы растений в Республике Беларусь: состояние и организация исследований // Земледелие и растениеводство. 2022. № 6. С. 7–9.
12. Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Скрининг сортообразцов льна-долгунца коллекции ВИР по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 2. С. 141–151. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151.
13. Куземкин И. А., Рожмина Т. А. Скрининг образцов коллекции льна-долгунца по урожайности и их адаптивность к условиям северо-западного региона России // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 5. С. 666–674. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674.
14. Трабурова Е. А., Рожмина Т. А., Андреева И. А. Скрининг образцов генофонда льна по урожайности волокна и их адаптивности к условиям Центрального Нечерноземья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 6. С. 688–696. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.688-696.
15. Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Изучение коллекционных образцов генофонда льна-долгунца по основным хозяйственно ценным признакам в условиях Северо-Запада Российской Федерации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 4. С. 518–530. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.518-530.
16. Понажев В.П., Павлова Л. Н., Рожмина Т. А., Лошакова Н. И., Кудрявцева Л. П., Виноградова Е. Г., Пролетова Н. В., Янышина А. А., Медведева О. В., Линь А. А., Синцова О. В., Курчакова Л. Н., Герасимова Е. Г. Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца: методические указания. Тверь: Тверской государственный университет, 2014. 140 с.
17. Кутузова С. Н., Питько А. Г. Изучение коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.): методические указания. Л.: ВИР, 1988. 29 с.
18. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур // Под ред. Федина М. А. М., 1988. 122 с.
19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по требованию, 2013. 349 с.
20. Петрова Н. Н., Кардис Т. В., Егоров С. В., Акулич М. П. Метод электрофоретического анализа белков для целей селекции и сортового контроля // Земляробства і ахова раслін. 2008. № 3. С. 8–13.
21. Богдан В. З., Петрова Н. Н. Новые резервы в селекции льна-долгунца: монография. Горки: БГСХА, 2013. 200 с.
22. Титок В. В., Леонтьев В. Н., Лугин В. Г. Современные инструментальные методы анализа льнопродукции. Минск: БГТУ, 2011. 278 с.
23. Богдан В. З., Ивашко Л. В., Богдан Т. М., Чульцов Р. А. Сорт Грант – гарантия высоких урожаев льна-долгунца // Наше сельское хозяйство. 2015. № 7. С. 23–26.
24. Богдан В. З., Лемеш В. А., Богданова М. В., Богдан Т. М., Литарная М. А. Генетическая паспортизация новых сортов льна-долгунца белорусской селекции с использованием молекулярных маркеров // Земледелие и растениеводство. 2021. № 6. С. 48–52.
25. Богданова М. В. Микросателлитный анализ сортов льна, включенных в государственный реестр Республики Беларусь // Материалы всероссийской молодежной конференции в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» «Актуальные проблемы генетики и молекулярной биологии в рамках фестиваля науки». Уфа: ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет», 2012. С. 8–9.
26. Государственный реестр сортов // Отв. ред. Бейня В. А. Минск: Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений», 2021. С. 46–47.
27. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. С. 135–136. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://docviewer.yandex.by/view/1130000015058030/>.

References

1. Samsonov V. P., Bogdan V. Z. Variety is the most important factor in increasing the efficiency of flax growing // *Zemlyarobstva i akhova raslin*. 2011. No. 6. P. 78–80.
2. Kishlyan N. V., Melnikova N. V., Rozhmina T. A. The mechanisms of fiber flax adaptation to high soil acidity (a review) // *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2020. Vol.181. No. 4. P. 205–212. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-205-212.
3. Bogdan V. Z., Bogdan T. M., Korolev K. P. Fiber flax breeding in Belarus: directions, results, perspectives // *Crop Farming and Plant Protection*. 2016. No. 6. P. 33–36.
4. Khamutovsky P. R., Khamutovskaya E. M., Shulga V. A., Balashenko D. V., Ryzhkova A.V. Characteristics of new fiber flax cultivars bred by RUE “Mogilev OSHOS NAS of Belarus” // *Crop Farming and Plant Growing*. 2022. No. 3. P. 47–50.
5. Bogdan V. Z. New varieties of fiber flax and their economic evaluation // *Crop Farming and Plant Growing*. 2023. No. 1. P. 45–49.
6. Grib S. I. Strategy priorities and ways of field crop breeding in Belarus // *Proceedings of the International scientific-practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the founding of the Republican Unitary Enterprise “Research and Practical Center of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus for Arable Farming” “Strategy and priorities for the development of agriculture and selection of field crops in Belarus”*. Minsk: National Academy of Sciences of Belarus, Research and Practical Center of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus for Arable Farming, 2017. P. 214–216.
7. Litarnaya M. A., Bogdan V. Z. Evaluation of adaptability of fibre flax collection samples by “total fibre yield” character // *Arable Farming and Plant Breeding in Belarus*. 2022. Iss. 58. P. 452–457.
8. Rozhmina T. A., Zhuchenko A. A. jr., Melnikova N. V., Smirnova A. D. Resistance of flax gene pool samples to edaphic stress caused by low acidity // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020. Vol. 21. No. 2. P. 133–140. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.133-140.
9. Korolev K. P., Bome N. A. Evaluation of flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes on environmental adaptability and stability in the north-eastern Belarus // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural biology]*. 2017. Vol. 52. No. 3. P. 615–621. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.615rus.
10. Pavlova L. N., Gerasimova E. G., Rumyantseva V. N., Kudryavtseva L. P. New varieties of fiber flax – the basis for increasing the efficiency of the flax industry // *In book: Scientific support for the production of spinning crops: state, problems and prospects*. Tver: Tver State University, 2018. P. 23–25.
11. Privalov F. I. Plant genetic resources in the Republic of Belarus: state and organization of research // *Crop Farming and Plant Growing*. 2022. No. 6. P. 7–9.
12. Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. Screening of fiber flax varieties from the VIR collection according to flax fiber yield and adaptability parameters in the conditions of the Northwestern region // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020. Vol. 21. No. 2. P. 141–151. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151.
13. Kuzemkin I. A., Rozhmina T. A. Screening of accessions from fiber flax collection by productivity and their adaptability to the conditions of the North-West region of Russia // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022. Vol. 23. No. 5. P. 666–674. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674.
14. Traburova E. A., Rozhmina T. A., Andreeva I. A. Screening of flax gene pool samples by fiber yield and their adaptability to the conditions of the Central Non-Black Earth Region // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020. Vol. 21. No. 6. P. 688–696. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.688-696.
15. Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. Study of collection accessions of the fiber flax gene pool according to the main agronomic characters in the conditions of the North-West of the Russian Federation // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021. Vol. 22. No. 4. P. 518–530. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.518-530.
16. Ponazhev V. P., Pavlova L. N., Rozhmina T. A., Loshakova N. I., Kudryavtseva L. P., Vinogradova E. G., Proletova N. V., Yanyshina A. A., Medvedeva O. V., Lin A. A., Sintsova O. V., Kurchakova L. N., Gerasimova E. G. Breeding and primary seed production of fiber flax: guidelines. Tver: Tver State University, 2014. 140 p.
17. Kutuzova S. N., Pitko A. G. Study of the collection of flax (*Linum usitatissimum* L.): methodical instructions. Leningrad: VIR, 1988. 29 p.
18. Methodology of state variety testing of agricultural crops // Ed. by Fedin M. A. Moscow, 1988. 122 p.
19. Dospikhov B. A. Methods of field research: with the basics of statistical processing of research results. Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2013. 349 p.
20. Petrova N. N., Kardis T. V., Egorov S. V., Akulich M. P. Method of electrophoretic analysis of proteins for selection and varietal control // *Zemlyarobstva i akhova raslin*. 2008. No. 3. P. 8–13.

21. Bogdan V. Z., Petrova N. N. New reserves in fiber flax breeding: monograph. Gorki: Belarus State Agricultural Academy, 2013. 200 p.
22. Titok V. V., Leontiev V. N., Lugin V. G. Modern instrumental methods for analyzing flax products. Minsk: BSTU, 2011. 278 p.
23. Bogdan V. Z., Ivashko L. V., Bogdan T. M., Chultsov R. A. Variety Grant – a guarantee of high yields of fiber flax // *Nashe selskoe khozyaystvo*. 2015. No. 7. P. 23–26.
24. Bogdan V. Z., Lemesh V. A., Bogdanova M. V., Bogdan T. M., Litarnaya M. A. Genetic passport system of Belarusian selection new fiber flax varieties with the use of molecular markers // *Crop Farming and Plant Growing*. 2021. No. 6. P. 48–52.
25. Bogdanova M. V. Microsatellite analysis of flax varieties included in the state register of the Republic of Belarus // *Proceedings of the All-Russian Youth Conference in the framework of the Federal Target Program “Scientific and scientific-pedagogical personnel of innovative Russia” “Actual problems of genetics and molecular biology within the framework of the festival Sciences”*. Ufa: Bashkir State Agrarian University, 2012. P. 8–9.
26. State Register of Varieties // Ed. by Beynya V. A. Minsk: Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, State Inspectorate for Testing and Protection of Plant Varieties, 2021. P. 46–47.
27. State register for selection achievements admitted for usage (national list). Vol.1. “Plant varieties” (official publication). Moscow: FGBNU “Rosinformagrotech”, 2022. P. 135–136. [Electronic resource]. Access point: <https://docviewer.yandex.by/view/1130000015058030/> (reference’s date 02.03.2023).

UDC 633.521:631.527(476)

Grib S. I., Bogdan V. Z.

OPTIMIZATION OF THE METHODOLOGY AND RESULTS OF FLAX BREEDING IN BELARUS

Summary. *The dynamic development of flax cultivation is driven by the need to create competitive products from high-quality raw materials. Variety is one of the most important elements in a multi-link technological chain for the production of raw materials for further processing. The aim of the research was to improve methods of the flax breeding process methodology, to identify genetic sources of economically valuable traits, to create new breeding material and high-productive varieties adapted to the soil and climatic conditions of the Republic of Belarus. The studies were carried out in 1996–2021 on experimental plots of RUE “Institute of Flax” (Orsha district of Vitebsk region, Republic of Belarus) on sod-podzolic soil. In the course of research, we used generally accepted methods of analysis and were guided by standard methods of variety study. As a result of studying the national collection of fiber flax gene pool created at the “Institute of Flax”, which currently includes 628 samples from 33 countries, genetic sources of the most important economically valuable traits were identified: early maturity – 91 samples (61 – 77 days), high yield of treated plant fibres (retted stalks) – 57 (613.9–928.2 g/m²), high yield of fiber – 60 (177.9–317.9 g/m²) and seeds – 81 (123.8–194.2 g/m²), high fiber content – 205 (28.1–36.4 %) and the quality of long frayed fiber – 55 (fiber numbers 12–13), resistance to Fusarium wilt – 76 (disease development less than 20%) and lodging – 175 (4.5–5.0 points). The use of new methodological approaches in fiber flax breeding for the genotypes evaluation and selection (scanning electron microscopy, electrophoresis, DNA marking) in combination with traditional methods of hybridization and selection contributed to the creation of 14 varieties differentiated by duration of growing season: eight early-ripening (‘Pralska’, ‘Yarok’, ‘Levit 1’, ‘Vesta’, ‘Laska’, ‘Grant’, ‘Mayak’, ‘Dukat’); four mid-ripening (‘Iva’, ‘Lada’, ‘Rubin’, ‘Altyn’) and two late-ripening (‘Mara’ and ‘Taler’). Created varieties are characterized by high yields (retted stalks – 46.1–66.0 c/ha, fiber – 13.5–21.6 c/ha) and quality of flax products, as well as resistance to lodging (4.0–5.0 points) and Fusarium wilt (in 10 out of 14 varieties, the development of the disease is less than 20 %). All varieties are included in the State Register of the*

Republic of Belarus. Five of them ('Praleska', 'Levit 1', 'Vesta', 'Laska', 'Grant') are included in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation.

Keywords: *fiber flax (Linum usitatissimum L.), breeding, variety, source material, sample, sources of economically valuable traits, anatomical-morphological, biochemical and physico-chemical methods of analysis, electrophoresis.*

Гриб Станислав Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Национальной академии наук Беларуси, главный научный сотрудник лаборатории тритикале, Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»; 222160, Республика Беларусь, Минская область, г. Жодино, ул. Тимирязева, 1; e-mail: triticale@izis.by.

Богдан Виктор Зигмундович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий лабораторией селекции льна-долгунца, Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна»; 211003, Республика Беларусь, Витебская область, Оршанский район, аг. Устье, ул. Центральная, 27; e-mail: bogdan_v@tut.by.

Grib Stanislav Ivanovich, Dr. Sc. (Agr.), Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, chief researcher of the triticales Laboratory, Republican unitary enterprise "Research and Practical Center of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus for Arable Farming"; 1, Timiryazeva str., Zhodino, Minsk region, 222160, Republic of Belarus; e-mail: triticale@izis.by.

Bogdan Viktor Zigmundovich, Cand. Sc. (Agr.), assistant professor, head of the Laboratory of fiber flax breeding, Republican scientific subsidiary unitary enterprise "Institute of Flax"; 27, Tsentralnaya str., agro-town Ustye, Orsha district, Vitebsk region, 211003, Republic of Belarus; e-mail: bogdan_v@tut.by.

Дата поступления в редакцию – 07.02.2023.

Дата принятия к печати – 10.03.2023.

УДК 633.11:551.5

DOI: 10.5281/zenodo.7898389

EDN RCYGEQ

Гулянов Ю. А., Поляков Д. Г.

ЗАВИСИМОСТЬ ФИТОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕВЫХ АГРОЦЕНОЗОВ ОТ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН) – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (ОФИЦ РАН)

Реферат. Экспресс-оценка уровня развития фитомассы полевых агроценозов и агрофизических показателей почвы необходимы для оперативной технологической оптимизации условий произрастания полевых культур, более полной реализации их урожайного потенциала, а также сохранения и воспроизводства почвенного плодородия. Исследования проводили в 2020–2022 гг. в производственных посевах учебно-опытного поля Оренбургского государственного аграрного университета. Объектом исследований выступали нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) агроценозов озимой и яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), овса посевного (*Avena sativa* L.), возделываемых по минимальной технологии, и агрофизические параметры (твёрдость, влажность, плотность) почвы экспериментального участка. Определение NDVI проводили по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и ручным сенсором *Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS-100*. Для определения твёрдости почвы использовали пенетрологгер *Eijkelkamp 06.15.SA*, плотность пахотного слоя почвы определяли буровым методом по Н. А. Качинскому, влажность почвы – термостатно-весовым методом. При обработке цифрового материала применяли общепринятые методы статистического анализа. Установлена приемлемость современных инструментальных методов определения фитометрических параметров посевов и агрофизических свойств почвы с помощью портативных устройств, их простота и оперативность. Подтверждена высокая сходимость результатов определения NDVI по спутниковым снимкам и полученным в процессе наземного сканирования. Выявлена зависимость фитометрических параметров агроценоза овса (по NDVI) от агрофизических параметров почвы. Отмечена наиболее выраженная обратная связь ($r = -0,52$) NDVI с плотностью верхнего (5–10 см) почвенного горизонта и твёрдостью слоёв почвы 5–10 см ($r = -0,43$) и 25–30 см ($r = -0,52$), наиболее вероятно связанная с переходом на прямой посев в современных агротехнологиях и наследием глубоких обработок в ретроспективе, способствовавших уплотнению почвы в этих горизонтах.

Ключевые слова: ДЗЗ, фитометрические параметры посева, агрофизические свойства почвы, твёрдость почвы, овёс посевной (*Avena sativa* L.).

Для цитирования: Гулянов Ю. А., Поляков Д. Г. Зависимость фитометрических параметров полевых агроценозов от агрофизических показателей почвы // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 19–33. DOI: 10.5281/zenodo.7898389. EDN: RCYGEQ.

For citation: Gulyanov Yu. A., Polyakov D. G. Dependence of phytometric parameters of agrocenoses on agrophysical indicators of soil // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(33). P. 19–33. DOI: 10.5281/zenodo.7898389. EDN: RCYGEQ.

Введение

Обеспечение продовольственной безопасности населения и экспортного потенциала страны являются одними из приоритетных задач сельскохозяйственной отрасли РФ. Их успешная реализация напрямую зависит от размеров и стабильности валовых сборов зерновых культур, в большей степени определяемых их урожайностью.

Реализация генетического потенциала выращиваемых сортов в свою очередь зависит от условий внешней среды, включающих метеорологические, почвенные, воздушные и прочие факторы, характеризующиеся значительной пространственной и временной изменчивостью, даже в пределах небольших площадей. Их динамика сопровождается значительной гетерогенностью фитомассы, что впоследствии приводит к изменению урожайности и уменьшению валовых урожаев.

Нивелирование условий внешней среды путём приближения лимитирующих факторов, специфичных для отдельных элементарных участков поля, к оптимальным значениям путём дифференцированного воздействия теми или иными средствами, отрабатывается в системах точного земледелия в мировой и отечественной сельскохозяйственной практике достаточно давно, хотя не везде одинаково широко и успешно [1, 2]. Такой подход предполагает активное внедрение элементов интеллектуальных технологий, предполагающих использование информационных ресурсов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), данных наземного сканирования посевов и использования роботизированной техники для максимальной реализации биологического потенциала всех растений в агроценозе посредством более полного удовлетворения их потребностей [3, 4].

По убеждению многих исследователей [5, 6], объективным критерием оценки продуктивных перспектив посевов служит уровень пространственного развития фитомассы и степень его соответствия оптимальным параметрам на каждом этапе вегетации. С его величиной достоверно коррелирует нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), определение которого не представляет больших трудностей благодаря доступности методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и наземных методов исследования [7]. Частичное приведение заниженных параметров фитомассы на отдельных элементарных участках поля к оптимальным значениям может быть достигнуто уже в процессе вегетации, например, посредством дифференцированных минеральных подкормок в случае низкой обеспеченности почвы микроэлементами, обработок пестицидами при очаговой засорённости или поражённости болезнями и вредителями и др. [8].

В то же время формирование оптимальной фитомассы полевых культур значительно зависит от агрофизических свойств почвы, формирующих её водный, воздушный, тепловой и питательный режимы. Их приведение к оптимальным значениям требует определённых подготовительных мероприятий агротехнического характера: разработки адаптивных севооборотов, использования почвосберегающих машин, внедрения щадящих приёмов обработки почвы и др.

Для оперативной оценки агрофизического состояния почв агроландшафтов можно использовать разные параметры, характеризующие её свойства. К примеру, твёрдость почвы или сопротивление пенетрации представляет собой совокупную характеристику плотности почвы, её влажности, содержания в ней глинистой фракции, органического вещества [9] и непосредственно влияет на развитие корневых систем растений [10]. Принято считать, что при увеличении твердости почвы до 3 МПа значительно усиливается отрицательное воздействие на рост и развитие сельскохозяйственных растений [11]. Отмечается, что высокая твёрдость почвы является основным сдерживающим фактором роста корней даже во влажных

почвах [12]. Зависимость пространственного проникновения корней от сопротивления почвы зачастую оказывается близкой к линейной, но при этом индивидуальной для различных по своим структурно-агрегатным показателям почв [13].

Важной характеристикой агрофизических свойств почвы является и плотность почвы. Она зависит от гранулометрического и минералогического состава почвы, её структуры, содержания органического вещества (гумуса) и сельскохозяйственной практики, связанной с обработкой. Плотность сложения определяет водный и воздушный режим почвы (водопоглотительную и водоудерживающую способность, газообмен с атмосферой), условия жизнедеятельности микроорганизмов и развития корневых систем растений [14].

Для большинства сельскохозяйственных культур оптимальной считают плотность почвы 1,0–1,2 г/см³. Чрезмерное снижение плотности отрицательно сказывается на содержании влаги, элементов минерального питания в единице объёма почвы и полноте всходов. Напротив, повышение плотности сверх оптимальных значений сдерживает рост корней, ограничивает доступность влаги и обеспеченность воздухом. Визуально различимое угнетение растений наблюдается уже при уплотнении почвы до 1,30–1,35 г/см³ [15].

Значение оптимальной влажности почвы для высокой реализации урожайного потенциала полевых культур переоценить очень сложно, особенно в богарном земледелии [16, 17].

В соответствии с вышеизложенным, контроль агрофизических параметров почвы инструментальными методами, оценка их влияния на уровень развития фитомассы (посредством NDVI) и её соответствие оптимальным значениям являются актуальными научными направлениями.

Использование экспериментальных данных с целью усовершенствования и адаптации агротехнических приёмов, повышающих фотосинтетическую продуктивность агроценозов путём оптимизации агрофизических свойств почвы, может стать одним из путей увеличения продуктивности посевов, вывода из обработки низкоплодородных, неустойчивых и прочих маргинальных земель, служащих сохранению биологического разнообразия в зернопроизводящих регионах степной зоны России. В этом состоит практическая значимость проведённого эксперимента.

Цель исследований – выявление взаимосвязи фитометрических параметров полевых агроценозов и агрофизических показателей чернозёма южного с использованием инструментальных методов в условиях сухих степей Оренбургского Предуралья.

Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- установить фитометрические параметры посевов с помощью нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI), данных ДЗЗ и портативного устройства наземного сканирования;
- определить твёрдость, плотность и влажность почвы на выделенных закреплённых участках поля инструментальными методами;
- провести корреляционный анализ полученных результатов, выявить наиболее выраженные зависимости между фитометрическими (по NDVI) параметрами посева и агрофизическими свойствами почвы;
- обосновать практическую значимость полученных результатов и перспективу продолжения научных исследований.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2020–2022 гг. в производственных посевах учебно-опытного поля Института степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН) – обособленного структурного подразделения ФГБУН «Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (ОФИЦ РАН) с озимой и яровой пшеницей (*Triticum aestivum* L.), овсом посевным (*Avena sativa* L.), возделываемыми по общепринятой для зоны исследований технологии, предполагающей минимальную обработку почвы.

Почва опытного участка – чернозём южный маломощный карбонатный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое почвы 3,8 % (по методу Тюрина), подвижного азота (NO_3^-) – 1,35 г/100 г почвы (при определении ионометрическим методом), легкогидролизуемого азота – 8,4 мг (по методу Тюрина и Кононовой), подвижного фосфора (P_2O_5) – 3,25 мг и обменного калия (K_2O) – 27,0 мг/100 г почвы (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО).

Зона исследований характеризуется недостаточным и неустойчивым атмосферным увлажнением, продолжительной, морозной и не всегда снежной зимой, короткой дружной весной с быстрым переходом в жаркое засушливое лето и продолжительной тёплой и сухой осенью. Годовая сумма эффективных температур составляет 2627 °С, со средней температурой самого тёплого месяца (июль) 21,9 °С и самого холодного (январь) – 14,8 °С. За год выпадает 360–370 мм осадков, из которых около 130 мм (35,4 %) приходится на тёплый период (май–август) [3].

Объектом исследований выступали фитометрические параметры полевых агроценозов, оцениваемые по величине нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI, и агрофизические свойства (твёрдость, влажность, плотность) почвы, устанавливаемые инструментальными методами.

Для полевого эксперимента был выбран относительно горизонтальный участок, без ярко выраженных эрозионных проявлений и технологических отступлений, с визуально различимой неоднородностью растительного покрова, проявляющейся в разные по метеорологическим условиям годы в посевах различных культур зернопарового севооборота.

Нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) посевов озимой пшеницы (2020 г.), яровой пшеницы (2021 г.) и овса (2022 г.) определяли на базе общедоступных космических снимков Landsat 8 и Sentinel-2, размещённых на on-line ресурсах Sentinel-hub.com.

На третий год полевого эксперимента (2022 г.) в пределах экспериментального участка агроценоза овса были заложены восемь пробных площадок по 100 м² (10×10) с разным уровнем развития фитомассы. В их границах определяли фитометрические параметры посева и агрофизические свойства почвы инструментальными методами. Определение NDVI и твёрдости почвы проводили в десятикратной повторности, влажности почвы – в трехкратной повторности.

Наземное измерение вегетационного индекса (NDVI) проводили портативным устройством (ручным сенсором) Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS - 100 (Trimble, USA).

Для определения твёрдости почвы послойно, через каждые 10 см (до глубины 80 см) использовался пенетрологгер Eijkelkamp 06.15.SA (Нидерланды), предоставленный Центром выявления и поддержки одаренных детей Оренбуржья «Гагарин» (г. Оренбург).

Плотность пахотного слоя почвы определяли буровым методом по Н. А. Качинскому в трёх слоях: 5–10 см, 15–20 см, 25–30 см. Оценку полученных

значений проводили также по методике Н. А. Качинского, в соответствии с которой почву с плотностью, не превышающей $1,0 \text{ г/см}^3$, считали рыхлой, богатой органическим веществом. Для вспаханной почвы характерной принимали плотность $1,0\text{--}1,1 \text{ г/см}^3$. При более высоких значениях почву считали уплотнённой ($1,2\text{--}1,3 \text{ г/см}^3$) и сильно уплотнённой ($1,3\text{--}1,4 \text{ г/см}^3$). К типичной для подпахотных горизонтов относили плотность $1,4\text{--}1,6 \text{ г/см}^3$ [18].

Влажность почвы определяли в этих же слоях термостатно-весовым методом [19].

При обработке цифрового материала применяли общепринятые методы корреляционного анализа [19].

Результаты и их обсуждение

В результате анализа рассчитанных на основе данных ДЗЗ величин NDVI озимой (2020 г.) и яровой (2021 г.) пшеницы, возделывавшихся на экспериментальном участке в зернопаровом севообороте, выявлена их значительная неоднородность. Показатели характеризовались схожим пространственным распределением в различные по метеорологическим условиям годы и близкой величиной.

Весенне-летние периоды вегетации 2020 и 2021 гг., в целом отличавшиеся высокой засушливостью, выразившейся в двукратном снижении ГТК Селянинова (до 0,27 и 0,22) относительно средних значений (0,54), имели некоторые особенности. При практически равном за два года суммарном количестве осадков периода май–август (71 и 67 мм соответственно), составившем только 54,6 % и 51,5 % от средних значений предшествующего тридцатилетнего периода (130 мм), их распределение по месяцам было различным. В мае, июне и августе осадков было больше в 2020 г. (суммарно 66 мм, что на 21 мм или 35,0 % больше, чем в 2021 г.), а в июле – в 2021 г. (26 мм, что на 18 мм или 69,2 % больше, чем в 2020 г.). Особенно скудным на атмосферные осадки в 2020 г. оказался июль (8 мм или 19,0 %), а в 2021 г. – август (2 мм или 8,3 %). Выявлены значительные различия и в термических ресурсах весенне-летних периодов. Если в 2020 г. сумма активных (выше $10 \text{ }^\circ\text{C}$) температур за май–август составила $2572 \text{ }^\circ\text{C}$, то в 2021 г. она оказалась на $385 \text{ }^\circ\text{C}$ (15,0 %) выше ($2957 \text{ }^\circ\text{C}$).

В таких различающихся метеорологических условиях пространственная неоднородность развития фитомассы озимой и яровой пшеницы оказалась схожей, что подтверждает визуализация NDVI в фазе колошения–цветения, представленной на рисунке 1.

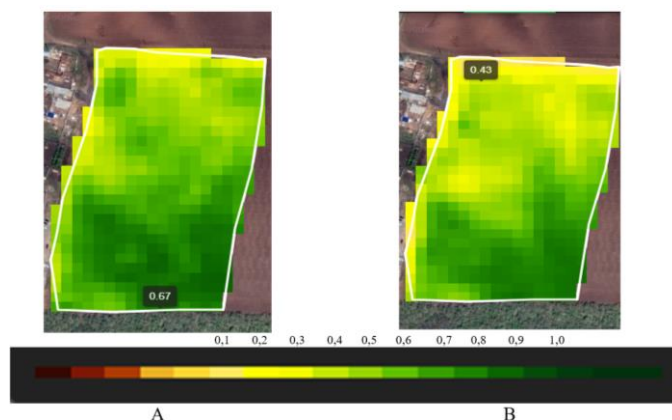


Рисунок 1 – Пространственная вариабельность нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) агроценоза озимой (А) (2020 г.) и яровой (В) (2021 г.) пшеницы по данным ДЗЗ в фазе колошения–цветения

В результате корреляционного анализа пространственных рядов NDVI выявлена их совместная вариация с коэффициентом корреляции 0,84 (сильная связь), что послужило основанием для выявления других, не связанных с метеорологическими условиями, причин гетерогенности растительного покрова. Очаговой засорённости, заражённости болезнями или повреждения вредителями, которые могли бы вызвать искажение подлинных значений NDVI на отдельных элементарных участках, на экспериментальном поле не выявлено.

Следует отметить, что размах вариации NDVI по разным элементарным участкам агроценоза озимой пшеницы при средних значениях 0,53 составил 0,28 (от 0,39 до 0,67) с коэффициентом вариации 15,5 %. В агроценозе яровой пшеницы при среднем значении NDVI 0,57 его размах был на 0,02 ниже, снизился и на 2,7 % коэффициент вариации.

В 2022 г. с целью дальнейшего поиска причин, вносящих пестроту в пространственное распределение NDVI, вместе с интерпретацией космических снимков, проведено инструментальное определение NDVI и агрофизических показателей почвы.

В результате наземного сканирования посевов овса на выделенных закреплённых участках также выявлена значительная пространственная вариабельность нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) – от минимальных 0,26 до максимальных 0,76 единиц. При размахе вариации в 0,50 единиц и коэффициенте вариации 33,1 % отмечено почти трёхкратное (в 2,9 раза) преимущество в степени развития фитомассы овса на одних участках в сравнении с другими, свидетельствующее о значительных различиях в их фотосинтетической активности и урожайных перспективах. Детальная интерпретация спутниковых снимков дала схожую картину вариации NDVI по исследуемым участкам, с коэффициентом корреляции (r) между результатами дистанционных и наземных измерений, свидетельствующем об их сильной связи ($r = 0,87$) (рисунок 2).

Как показывает практика, причинами гетерогенности растительного покрова полевых агроценозов может быть комплекс факторов, среди которых изреженность и пестрота всходов, их недружность и образование подгона в условиях недостаточной влагообеспеченности верхнего слоя почвы – достаточно частые явления в степной зоне. Наличие в агроценозе разновозрастных растений, не нивелирующееся со временем, приводит к формированию визуально определяемой мозаики из участков поля, значительно различающихся по продуктивности фитомассы.

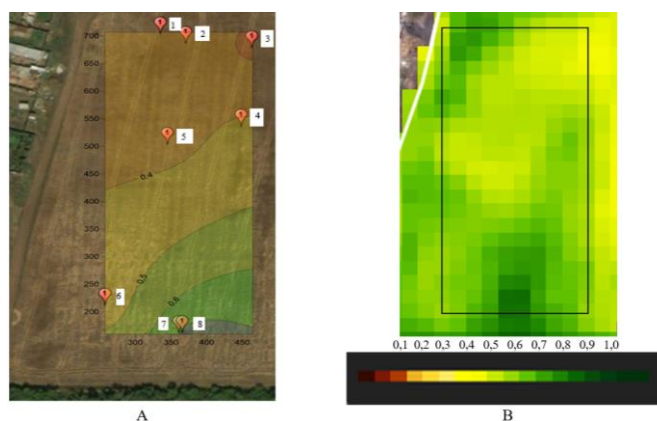


Рисунок 2 – Пространственная вариабельность нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) агроценоза овса в фазе начала выхода в трубку по результатам наземного инструментального измерения (А) и данным ДЗЗ (В), 10 июня 2022 г.

Этому, вместе с недостаточностью атмосферного увлажнения, может способствовать и недобросовестная сельскохозяйственная практика, связанная с использованием устаревшей или низкокачественной сельскохозяйственной техники, непригодной к поддержанию установленной нормы высева семян, не способной выдерживать глубину посева. К подобным последствиям приводит и непрофессиональный подход к выбору приёмов подготовки почвы, особенно основанных на глубоких обработках с оборотом пласта. Значительно снижают дружность и полноту всходов использование низкокачественных семян, игнорирование их предпосевного протравливания, не соблюдение сроков посева и др.

При проведении полевого эксперимента (2020–2022 гг.) влияние подобных факторов было исключено, все агроприёмы проводили качественно и в срок.

Детальный анализ метеорологических параметров 2022 г. в предшествующий посеву (восьмого мая) и послепосевной периоды показал, что условия увлажнения были достаточно благоприятными для формирования дружных, полных и хорошо развитых всходов и не выступали в качестве лимитирующего фактора.

В этом состоит уникальность полевого эксперимента 2022 г., так как подобные условия увлажнения складываются в зоне исследований исключительно редко. За апрель выпало 23,5 мм или 84,0 % от среднемноголетней месячной нормы (28,0 мм). В мае отмечено 105,8 мм или более трёх среднемесячных климатических норм (34 мм). Особенно благоприятный режим увлажнения сложился в послепосевной период – период набухания семян, появления проростков и формирования всходов. Только с 10 по 25 мая выпало 104,5 мм осадков. Дожди выпадали практически ежедневно, не носили ливневого характера и хорошо впитывались почвой (рисунок 3)

До даты проведения инструментальных измерений (10 июня) прошли ещё несколько дождей – 14,4 мм пятого и 3,8 мм девятого июня.

В целом, темп накопления атмосферных осадков весной и в начале лета 2022 г. превышал среднемноголетний график практически на всём протяжении, а с 10 мая стал наиболее ощутимым, с максимальным превышением среднемноголетних величин на 85,1 мм (пятое июня).

Сложившийся режим выпадения атмосферных осадков обеспечил достаточно однородное увлажнение почвы на всём поле.

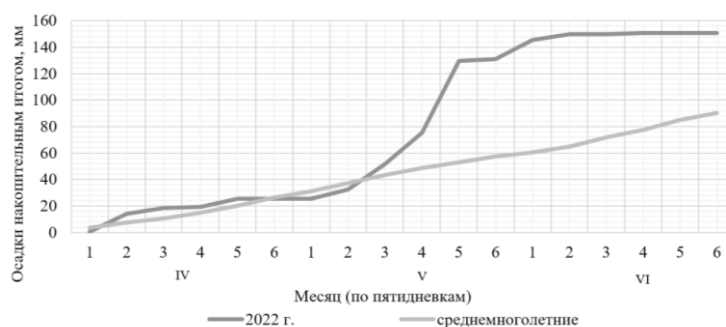


Рисунок 3 – Накопление атмосферных осадков в предпосевной и послепосевной периоды вегетации овса в 2022 г. на фоне среднемноголетних данных

Послойный анализ влажности почвы на отдельных экспериментальных участках выявил невысокую изменчивость ее показателей, составивших в верхнем (5–10 см) слое почвы 6,3 %, 5,8 % – в слое 15–20 см и 6,7 % – в слое 25–30 см. В среднем по восьми экспериментальным участкам поля влажность почвы изменялась от 24,1 % в слое 5–10 см до 24,6–25,1 % – в слоях 15–20 и 25–30 см соответственно, обеспечивая благоприятные условия влагообеспеченности растений (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика экспериментальных участков агроценоза овса по NDVI и агрофизическим свойствам почвы, июнь 2022 г.

№ участка	Глубина, см	Твёрдость почвы, МПа	Плотность почвы, г/см ³	Влажность почвы, %	NDVI, среднее значение
1	5–10	3,6	1,35	24,0	0,40
	15–20	3,4	1,33	24,2	
	25–30	2,7	1,17	24,8	
	5–30	3,2	1,29	24,3	
2	5–10	2,4	1,22	26,4	0,37
	15–20	2,9	1,26	25,3	
	25–30	2,4	1,22	24,8	
	5–30	2,6	1,23	25,5	
3	5–10	2,7	1,41	22,7	0,28
	15–20	2,7	1,3	23,0	
	25–30	2,6	1,15	24,6	
	5–30	2,6	1,29	23,4	
4	5–10	2,3	1,35	21,6	0,42
	15–20	2,9	1,35	22,3	
	25–30	2,6	1,26	22,9	
	5–30	2,7	1,32	22,2	
5	5–10	2,3	1,41	21,9	0,37
	15–20	2,8	1,31	23,2	
	25–30	2,6	1,27	21,0	
	5–30	2,6	1,33	22,0	
6	5–10	1,2	1,33	27,9	0,44
	15–20	1,9	1,33	28,1	
	25–30	2,2	1,27	27,7	
	5–30	2,0	1,31	27,9	
7	5–10	1,7	1,28	24,2	0,68
	15–20	2,4	1,34	26,1	
	25–30	2,5	1,23	27,2	
	5–30	2,4	1,28	25,8	
8	5–10	2,0	1,28	23,7	0,75
	15–20	2,9	1,25	24,7	
	25–30	2,2	1,16	27,8	
	5–30	2,4	1,23	25,4	

Определение плотности почвы по экспериментальным участкам агроценоза овса позволило установить, что ее значения часто превышают оптимальный диапазон (1,10–1,25 г/см³), характерный для южных чернозёмов [20]. Вероятнее всего, это можно отнести к некоторому переувлажнению обедненной органическим веществом почвы, не успевшей достичь оптимальной физической спелости благодаря часто выпадавшим дождям при невысокой солнечной активности, особенно в верхних горизонтах.

Средняя плотность верхнего (5–10 см) слоя почвы с размахом вариации 0,19 г/см³ (от 1,22 до 1,41 г/см³) составила 1,32 г/см³, что соответствует пограничному положению между уплотнённой и сильно уплотнённой почвой (по методике Н. А. Качинского). В слое 15–20 см плотность почвы оказалась на 0,02 г/см³ ниже (1,30 г/см³) и ещё на 0,09 г/см³ (1,21 г/см³) ниже в слое 25–30 см при изменчивости от 1,26 до 1,35 г/см³ и от 1,15 до 1,27 г/см³ соответственно.

Плотность корнеобитаемого слоя почвы (5–30 см) в среднем по восьми экспериментальным участкам составила 1,28 г/см³ и в целом характеризовала почву как уплотнённую. Её пространственная изменчивость оказалась невысокой (0,1 г/см³), от 1,23 до 1,33 г/см³, с коэффициентом вариации 2,9 % (рисунок 4).

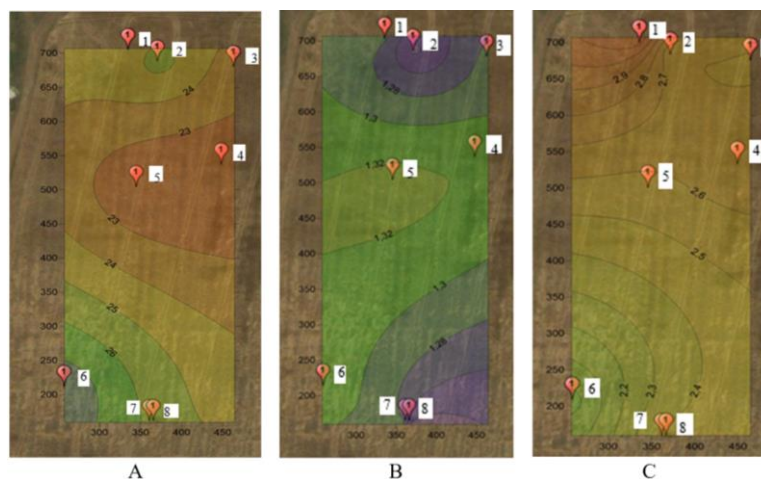


Рисунок 4 – Пространственное распределение агрофизических свойств почвы в слое 5–30 см в агроценозе овса по результатам инструментальной оценки, учебно-опытное поле Оренбургского ГАУ, июнь 2022 г.: А – влажность почвы, %; В – плотность почвы, г/см³, С – твёрдость почвы, МПа

Наименьшие значения твёрдости почвы на исследуемых экспериментальных участках отмечены на поверхности почвы – около 0,5 МПа (рисунок 5). В горизонте почвы 0–10 см наблюдали стремительный рост показателей, на отдельных экспериментальных участках – до критических значений в 3–4 МПа, что является свидетельством средней агрофизической деградации почвы [11]. На глубине 10–30 см происходило некоторое снижение твёрдости почвы и последующее небольшое увеличение на глубине 30–35 см.

Наличие пика твёрдости почвы на глубине 10 см отчётливо просматривалось на пяти из восьми профилей и, вероятно, было связано с переходом на нулевые и минимальные обработки почвы в их существенно упрощённом понимании (посев–уборка). В частности, это может быть связано с длительным прямым посевом сеялками, оборудованными высевающими аппаратами в виде стрелчатых лап (типа АУП-18.05 и её модификаций), формирующих чрезмерно уплотнённое семенное ложе, особенно на почвах, обеднённых органическим веществом.

Небольшой и не везде отчётливый пик увеличения твёрдости почвы на глубине 30–35 см, просматривающийся на отдельных профилях, наиболее вероятно связан с ещё сохраняющейся плужной подошвой или её последствиями, как наследием длительной глубокой обработки почвы с оборотом пласта, проводимой бесценно ранее.

Корреляционный анализ числовых рядов агрофизических параметров почвы и фитометрических параметров (по NDVI) агроценоза овса на соответствующих экспериментальных участках поля позволил выявить наиболее выраженные зависимости, характеризующиеся определёнными особенностями.

Так, наибольшее выраженная связь NDVI агроценоза овса и плотности почвы отмечена в самом верхнем её слое (5–10 см), где практически во всех вариантах наблюдали уплотнение почвы сверх оптимального. Связь указанных параметров обратная средняя ($r = -0,52$). Связь NDVI и плотности более глубоких горизонтов почвы оказалась менее выраженной, с коэффициентом корреляции $-0,18$ и $-0,11$ (15–20 см и 25–30 см соответственно), указывающим на слабую связь.

В отношении зависимости NDVI агроценоза овса от влажности отдельных горизонтов почвы выявлена прямая связь, значительно возрастающая к более глубоким горизонтам. Если с влажностью верхнего (5–10 см) горизонта (достаточно увлажнённого благодаря сложившимся метеорологическим особенностям года)

связь NDVI слабая ($r = 0,07$), с влажностью среднего (15–20 см) – средняя ($r = 0,35$), то с влажностью горизонта 25–30 см – близкая к сильной ($r = 0,65$). Это указывает на важность поддержания оптимальной влажности глубоких слоёв почвы, не подвергавшихся разрыхлению при минимальных обработках или прямом посеве, для формирования высокопродуктивных агроценозов полевых культур (таблица 2).

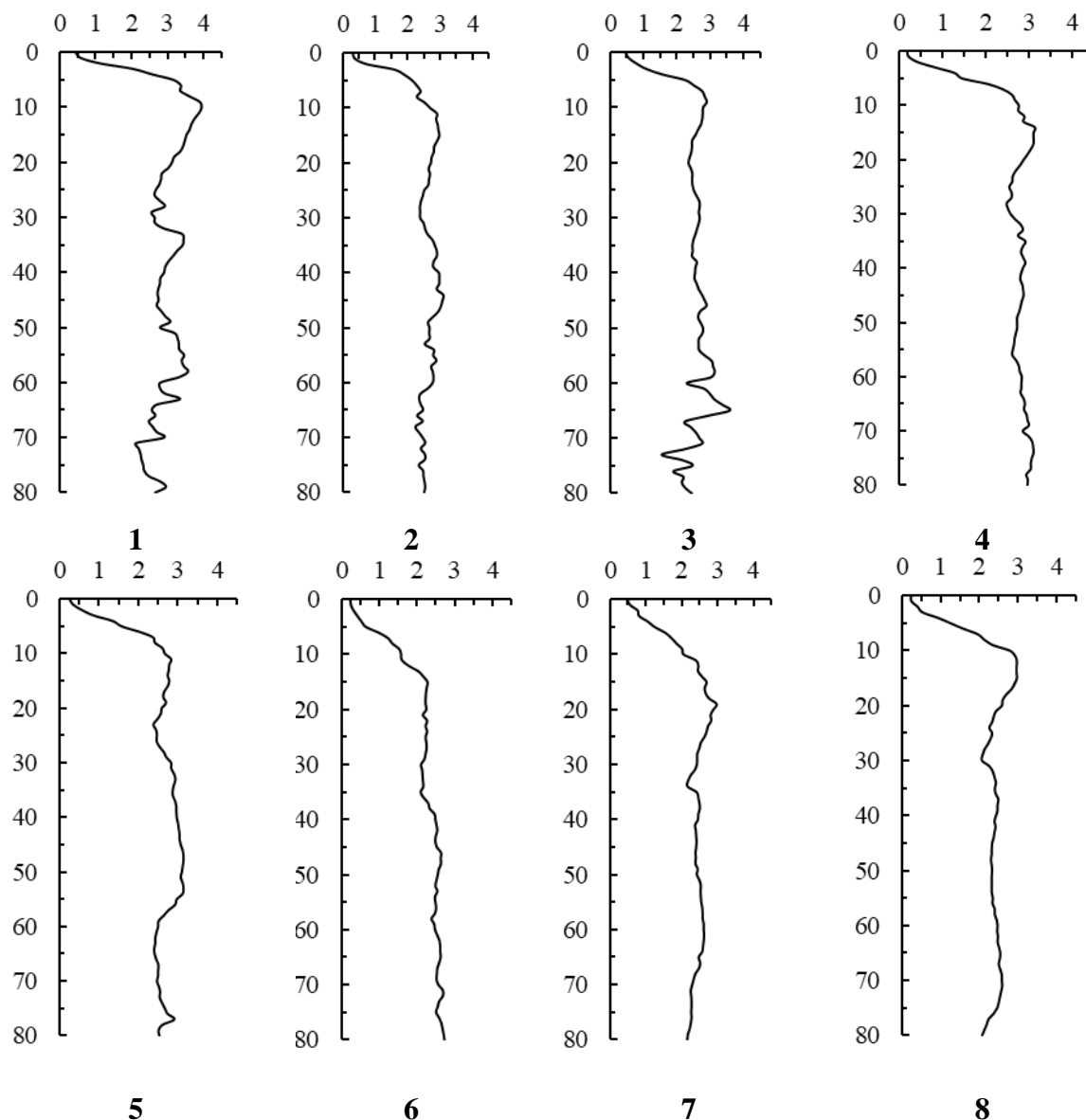


Рисунок 5 – Изменение твёрдости почвы с глубиной на восьми выделенных закреплённых участках (1–8), мПа

Таблица 2 – Связь агрофизических параметров почвы и NDVI в агроценозе овса

Показатель	Плотность почвы, г/см ³			Твёрдость почвы, МПа			Влажность почвы, %		
	5–10	15–20	25–30	5–10	15–20	25–30	5–10	15–20	25–30
Корреляция с NDVI (r)	-0,52	-0,18	-0,11	-0,43	-0,14	-0,52	0,07	0,35	0,65

Между твёрдостью почвы и NDVI агроценоза овса выявлена средняя обратная связь. Особенно выраженной она оказалась в верхнем 5–10 см слое почвы ($r = -0,43$) и более глубоком (25–30 см) горизонте ($r = -0,52$), что, вероятно, связано с отрицательным воздействием высокой твердости почвы на рост и развитие корневой системы овса в «плужных подошвах».

Повторное инструментальное определение NDVI агроценоза овса в фазе вымётывания–цветения (первое июля) и анализ спутниковых снимков подтвердили сохранившуюся неоднородность фитомассы по фиксированным экспериментальным участкам поля, хотя размах его вариации стал менее выраженным. Следует отметить, что выявлена совместная вариация числовых рядов NDVI, определённых в фазе начала выхода в трубку (10 июня) и вымётывания–цветения (первое июля). Их связь сильная, с коэффициентом корреляции 0,88 (рисунок 6).

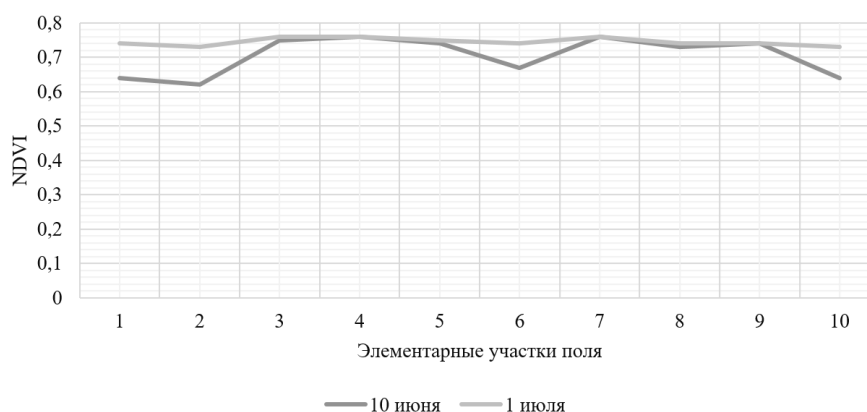


Рисунок 6 – Визуализация совместной вариации числовых рядов NDVI, определённых в агроценозе овса в фазе начала выхода в трубку (10 июня) и вымётывания–цветения (первое июля), 2022 г.

Примечательно, что на экспериментальных участках с наименьшей твёрдостью почвы уже к фазе начала выхода в трубку сформировалась самая высокая за всю вегетацию фитомасса овса, соответствующая значениям NDVI на уровне 0,67–0,74. К моменту максимального развития растений (фаза вымётывания–цветения) прирост фитомассы на этих участках оказался незначительным (на 0,04–0,06 единиц NDVI). Напротив, на участках с более высокими показателями плотности почвы, имевшими на первоначальном этапе вегетации низкие показатели NDVI, отмечено их увеличение на 0,14–0,24 единиц, при этом в целом они оказались ниже, чем на участках с меньшей твёрдостью почвы (0,52–0,55).

Таким образом, проведённые в степной зоне Оренбургского Предуралья исследования позволили установить приемлемость современных инструментальных методов определения агрофизических свойств почвы и фитометрических параметров посевов с помощью портативных устройств, их простоту и оперативность. Подтверждена высокая схожесть результатов определения NDVI по спутниковым снимкам и полученным в процессе наземного сканирования. Выявлена зависимость фитометрических параметров агроценоза овса (по NDVI) от агрофизических параметров почвы. Отмечена наиболее выраженная обратная связь ($r = -0,52$) NDVI с плотностью верхнего (5–10 см) почвенного горизонта и твёрдостью слоёв почвы 5–10 см ($r = -0,43$) и 25–30 см ($r = -0,52$), наиболее вероятно связанная с переходом на прямой посев в современных агротехнологиях и наследием глубоких обработок в ретроспективе, способствовавших уплотнению почвы в этих горизонтах.

Выводы

Определение агрофизических свойств почвы и фитометрических параметров посевов современными портативными устройствами может успешно применяться для агрофизической экспресс-оценки почв сельскохозяйственных угодий.

В качестве наиболее информативного показателя следует использовать твёрдость почвы, имеющую выраженную обратную связь с NDVI в наиболее «проблемных» почвенных горизонтах – 5–10 см ($r = -0,43$) и 25–30 см ($r = -0,52$). Они отличаются наличием уплотнённых слоёв, что является результатом перехода с относительно недавнего времени (15–20 лет) на прямой посев сеялками со стрельчатыми лапами (5–10 см) и наследия длительной глубокой обработки почвы с оборотом пласта (25–30 см).

Представленные в статье экспериментальные данные могут служить дополнительным аргументом, подтверждающим целесообразность сочетания прямого посева, минимальных и глубоких обработок почвы в севообороте, использования сеялок с разными типами сошников, сеялки с анкерными сошниками в технологиях прямого посева или сеялок с дисковыми сошниками в технологиях strip-till, исключающих образование выраженного уплотнения почвы в отдельных горизонтах, препятствующего более полному развитию фитомассы полевых культур

В настоящей статье представлены материалы продолжающихся исследований по научному обоснованию приемов адаптации элементов «цифровых технологий» в ландшафтно-адаптивное земледелие степной зоны. Данные исследования развиваются в направлении конвергенции ДЗЗ, мониторинга фитометрических показателей посевов и агрофизических параметров почвы портативными измерительными устройствами. Их результаты станут существенным дополнением к формирующейся базе данных для выработки рекомендаций по дифференциации норм технологического воздействия для конкретных почвенно-климатических условий региона в зависимости от сочетания указанных характеристик посева и почвы.

Исследование выполнено в рамках НИР ОФИЦ УрО РАН (ИС УрО РАН) «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем», № ГР АААА-А21-121011190016 -1.

Литература

1. Vecchio Y., De Rosa M., Adinolfi F., Bartoli L., Masi M. Adoption of precision farming tools: a context-related analysis // Land Use Policy. 2020. Vol. 94. Art. No. 104481. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104481.
2. Гамзиков Г. П. Точное земледелие в Сибири: реальность, проблемы и перспективы // Земледелие. 2022. № 1. С. 3–9. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-1-3-9.
3. Гулянов Ю. А. Мониторинг фитометрических параметров с использованием инновационных методов сканирования посевов // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 3 (19). С. 64–76. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76.
4. Budzko V., Medennikov V. Mathematical modeling of evaluating the effectiveness of using RSD data in precision farming // Procedia Computer Science. 2021. Vol. 190. P. 122–129. DOI: 10.1016/j.procs.2021.06.015.
5. Бухориев Т. А., Тухтаев М. О. Фитометрические параметры озимой пшеницы в зависимости от сроков сева // Аграрная наука. 2012. № 10. С. 10–11.
6. Mahjenabadi V., Mousavi S., Rahmani A., Karami A., Rahmani H., Khavazi K., Rezaei M. Digital mapping of soil biological properties and wheat yield using remotely sensed, soil chemical data and machine learning approaches // Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Vol. 197. Art. No. 106978. DOI: 10.1016/j.compag.2022.106978.
7. Гулянов Ю. А. Перспективы использования информационных ресурсов ДЗЗ для управления производственным процессом полевых агроценозов // Земледелие. 2022. № 2. С. 26–31. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-2-26-31.

8. Шерстобитов С. В. Эффективность дифференцированного внесения азотных удобрений в режиме OFF-LINE в условиях Западной Сибири // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (91). С. 22–26. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-91-5-22-26.
9. Dexter A. R., Czyż E. A., Gaę O. P. A method for prediction of soil penetration resistance // Soil and Tillage Research. 2007. No. 93(2). P. 412–419. DOI: 10.1016/j.still.2006.05.011.
10. Reichert J. M., Morales C. A. S., de Bastos F., Sampietro J. A., Cavalli J. P., de Araújo E. F., Srinivasan R. Tillage recommendation for commercial forest production: should tillage be based on soil penetrability, bulk density or more complex, integrative properties? // Geoderma Regional. 2021. No. 25. Art. No. e00381. DOI: 10.1016/j.geodrs.2021.e00381.
11. Трофимова Т. А., Коржов С. И., Гулевский В. А., Образцов В. Н. Оценка степени физической деградации и пригодности черноземов к минимизации основной обработки почвы // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1125–1131. DOI: 10.1134/S0032180X18090125
12. Bengough A. G., McKenzie B. M., Hallett P. D., Valentine T. A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits // Journal of Experimental Botany. 2011. No. 62(1). P. 59–68. DOI: 10.1093/jxb/erq350.
13. Агрофизика: учебное пособие // Под ред. Шеина Е. В. [и др.]. Владимир: Издательство Владимирского ГУ, 2014. 92 с.
14. Бакиров Ф. Г., Нестеренко Ю. М., Поляков Д. Г., Халин А. В. Равновесная плотность почвы: анализ дефиниций и методология // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 2 (70). С. 11–13.
15. Медведев И. Ф., Назаров В. А., Губарев Д. И., Жолинский Н. М., Деревягин С. С. Изменение агрофизических и агрохимических свойств чернозёма южного при различных способах основной обработки почвы // Аграрный научный журнал. 2017. № 2. С. 14–19.
16. Максюттов Н. А., Жданов В. М., Скороходов В. Ю., Кафтан Ю. В., Митрофанов Д. В., Зенкова Н. А., Жижин В. Н. Влагосберегающие приёмы и технологии в земледелии Оренбуржья // Зерновое хозяйство России. 2015. № 6 (94). С. 143–150.
17. Yang Y., Ding J., Zhang Yu., Wu J., Zwang J., Pan X., Gao C., Wang Y., He F. Effects of tillage and mulching measures on soil moisture and temperature, photosynthetic characteristics and yield of winter wheat // Agricultural Water Management. 2018. Vol. 201. P. 299–308. DOI: 10.1016/j.agwat.2017.11.003.
18. Качинский Н. А. Физика почвы. Ч.1. М.: Высшая школа, 1965. 321 с.
19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
20. Кузнецова И. В., Азовцева Н. А., Бондарев А. Г. Нормативы изменения физических свойств почв степной, сухостепной, полупустынной зон европейской территории России // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2011. Вып. 67. С. 3–19. DOI: 10.19047/0136-1694-2011-67-3-19.

References

1. Vecchio Y., De Rosa M., Adinolfi F., Bartoli L., Masi M. Adoption of precision farming tools: a context-related analysis // Land Use Policy. 2020. Vol. 94. Art. No. 104481. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104481.
2. Gamzikov G. P. Precision farming in Siberia: realities, challenges and prospects // Zemledelie. 2022. No. 1. P. 3–9. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-1-3-9.
3. Gulyanov Yu. A. Monitoring of the phytometric indications using innovative crop scanning methods // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2019. No. 3 (19). P. 64–76. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76.
4. Budzko V., Medennikov V. Mathematical modeling of evaluating the effectiveness of using RSD data in precision farming // Procedia Computer Science. 2021. Vol. 190. P. 122–129. DOI: 10.1016/j.procs.2021.06.015.
5. Bukhoriev T. A., Tukhtaev M. O. Phytometric parameters of winter wheat in depending on sowing terms // Agrarian Science. 2012. No. 10. P. 10–11.
6. Mahjenabadi V., Mousavi S., Rahmani A., Karami A., Rahmani H., Khavazi K., Rezaei M. Digital mapping of soil biological properties and wheat yield using remotely sensed, soil chemical data and machine learning approaches // Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Vol. 197. Art. No. 106978. DOI: 10.1016/j.compag.2022.106978.
7. Gulyanov Yu. A. Prospects of using remote sensing information resources for managing the production process of field agrocenoses // Zemledelie. 2022. No. 2. P. 26–31. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-2-26-31.
8. Sherstobitov S. V. Efficiency of differentiated application of nitrogen fertilizers in the off-line mode in the conditions of Western Siberia // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021. No. 5 (91). P. 22–26. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-91-5-22-26.
9. Dexter A. R., Czyż E. A., Gaę O. P. A method for prediction of soil penetration resistance // Soil and Tillage Research. 2007. No. 93(2). P. 412–419. DOI: 10.1016/j.still.2006.05.011.
10. Reichert J. M., Morales C. A. S., de Bastos F., Sampietro J. A., Cavalli J. P., de Araújo E. F., Srinivasan R. Tillage recommendation for commercial forest production: should tillage be based on soil

penetrability, bulk density or more complex, integrative properties? // Geoderma Regional. 2021. No. 25. Art. No. e00381. DOI: 10.1016/j.geodrs.2021.e00381.

11. Trofimova T. A., Korzhov S. I., Gulevskii V. A., Obraztsov V. N. Assessing the degree of physical degradation and suitability of chernozems for the minimization of basic tillage // Eurasian Soil Science. 2018. No. 51 (9). P. 1080–1085. DOI: 10.1134/S1064229318090120.

12. Bengough A. G., McKenzie B. M., Hallett P. D., Valentine T. A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits // Journal of Experimental Botany. 2011. No. 62(1). P. 59–68. DOI:10.1093/jxb/erq350.

13. Agrophysics: a textbook // Ed. by Shein E. V. [et al.]. Vladimir: Vladimir State University Publ., 2014. 92 p.

14. Bakirov F. G., Nesterenko Yu. M., Polyakov D. G., Khalin A. V. The balanced soil density: analysis of definitions and methodology // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018. No. 2 (70). P. 11–13.

15. Medvedev I. F., Nazarov V. A., Gubarev D. I., Zholinskiy N. M., Derevyagin S. S. Change of agrophysical and agrochemical properties of chernozem south in different ways of primary tillage // The Agrarian Scientific Journal. 2017. No. 2. P.14–19.

16. Maksyutov N. A., Zhdanov V. M., Skorokhodov V. Yu., Kaftan Yu. V., Mitrofanov D. V., Zenkova N. A., Zhizhin V. N. Moisture saving methods and technologies in Orenburg agriculture // Grain Economy of Russia. 2015. No. 6 (94). P. 143–150.

17. Yang Y., Ding J., Zhang Yu., Wu J., Zwang J., Pan X., Gao C., Wang Y., He F. Effects of tillage and mulching measures on soil moisture and temperature, photosynthetic characteristics and yield of winter wheat // Agricultural Water Management. 2018. Vol. 201. P. 299–308. DOI: 10.1016/j.agwat.2017.11.003.

18. Kachinsky N. A. Soil physics. Part 1. Moscow: Vysshaya skola, 1965. 321 p.

19. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.

20. Kuznetsova I. V., Azovtseva N. A., Bondarev A. G. Norms of change of physical properties of soils of steppe, arid and semi-desert zones of European Russian territories // Dokuchaev Soil Bulletin. 2011. Vol. 67. P. 3–19. DOI: 10.19047/0136-1694-2011-67-3-19.

UDC 633.11: 551.5

Gulyanov Yu. A., Polyakov D.G.

DEPENDENCE OF PHYTOMETRIC PARAMETERS OF AGROCENOSSES ON AGROPHYSICAL INDICATORS OF SOIL

Summary. *An express-evaluation of the level of development of field agrocenoses phytomass and agrophysical soil indicators is necessary for rapid technological optimization of the growing conditions of crops in order to more fully realize their productive potential, as well as to preserve and reproduce soil fertility. The research was carried out in 2020–2022 at the experimental field of the Orenburg State Agrarian University. The objects of research were the normalized difference vegetation index (NDVI) of agrocenoses of winter wheat (*Triticum aestivum* L.), spring wheat (*Triticum aestivum* L.), oat (*Avena sativa* L.) cultivated under minimum tillage technology and soil agrophysical parameters (hardness, humidity, density) at the experimental site. NDVI was determined using remote sensing data and a hand-held sensor Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS–100. The penetrometer Eijkelkamp 06.15.SA was used to determine the hardness of the soil; the density of the arable soil layer was determined by N.A. Kachinsky drilling method; soil moisture was determined by the thermostatic-weight method. Digital material was processed using generally accepted methods of statistical analysis. We have established the acceptability of modern instrumental methods (using portable devices) for determining phytometric parameters of crops and agrophysical properties of soils; the undoubted advantages of these devices are their ease of use and speed of obtaining results. The high convergence between the results of NDVI determination using satellite images and those obtained by ground scanning was confirmed. The dependence of phytometric parameters of oat agrocenosis (according to NDVI) on agrophysical indicators of the soil was revealed. The most pronounced inverse relationship ($r = -0.52$) was observed between NDVI and the density of the upper soil horizon (5–10 cm), as well as between NDVI and the hardness of the soil layers: 5–10 cm*

($r = -0.43$) and 25–30 cm ($r = -0.52$). With a certain degree of conditionality, this connection can be explained by the transition to direct sowing in modern agricultural technologies and the legacy of deep tillage in retrospect, which created a compacted soil layer in these horizons.

Keywords: remote sensing data, phytometric parameters of crops, agrophysical properties of soil, penetration resistance, oat (*Avena sativa* L.).

Гулянов Юрий Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела степеведения и природопользования, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН) – обособленное структурное подразделение ФГБУН Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ОФИЦ РАН); 460000, Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11; e-mail: iury.gulyanov@yandex.ru.

Поляков Дмитрий Геннадьевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела степеведения и природопользования, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН) – обособленное структурное подразделение ФГБУН Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ОФИЦ РАН); 460000, Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11; e-mail: electropismo@yandex.ru.

Gulyanov Yuriy Aleksandrovich, Dr. Sc. (Agr.), professor, senior researcher of the Department of steppe studying and environmental management, Institute of the Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Orenburg Federal Research Center” of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 11, Pioneer str., Orenburg, 460000, Russia; e-mail: iury.gulyanov@yandex.ru.

Polyakov Dmitriy Gennadievich, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher of the Department of steppe studying and environmental management, Institute of the Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Orenburg Federal Research Center” of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 11, Pioneer str., Orenburg, 460000, Russia; e-mail: electropismo@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 15.02.2023.

Дата принятия к печати – 16.03.2023.

УДК 633.81:57.085.2

DOI: 10.5281/zenodo.7898454

EDN BFCWPL

Егорова Н. А., Ставцева И. В.

**ВЛИЯНИЕ ОСМОТИЧЕСКОГО И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО
СТРЕССОВЫХ ФАКТОРОВ НА РАЗВИТИЕ *SALVIA SCLAREA L.*
В ЭМБРИОКУЛЬТУРЕ *IN VITRO***

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Создание новых генотипов, резистентных к абиотическим стрессовым факторам, является важнейшей задачей селекции эфиромасличных растений. Цель работы – изучить влияние осмотического и низкотемпературного стрессов на развитие зиготических зародышей шалфея мускатного для разработки селективной системы создания устойчивых к этим стрессовым факторам форм *in vitro*. В исследованиях использовали три сорта и 10 образцов *Salvia sclarea L.*, различающихся по засухоустойчивости. Одновременно испытывали действие осмотического и низкотемпературного стрессов *in vitro*. При осмотическом стрессе зародыши культивировали на среде Мурасиге и Скуга, содержащей 3–5 % сорбита. Моделирование холодного стресса проводили в три этапа с разной продолжительностью: закаливание при 0...4 °С; промораживание при снижении температуры от 0 до –12...–14 °С; оттаивание при 2...4 °С. После низкотемпературного стресса зародыши пересаживали на среду с той же концентрацией сорбита и культивировали при 26 °С и освещенности 2–3 клк. Установлено, что по мере повышения концентрации сорбита до 5 % и снижения температуры до –8...–14 °С все анализируемые параметры (частота прорастания зародышей, частота развившихся проростков, длина побега и корня) снижались по сравнению с контролем. У генотипов с высокими коэффициентами засухоустойчивости угнетение развития проростков при действии двух стрессоров было меньше, чем у неустойчивых генотипов. Максимальные коэффициенты корреляции (от 0,696 до 0,870) установлены между полевой засухоустойчивостью генотипов и частотой прорастания зародышей или частотой развившихся проростков. Разработана селективная система, которую можно использовать для отбора или косвенной оценки *in vitro* форм *S. sclarea* с комплексной устойчивостью к осмотику и низкой температуре.

Ключевые слова: *Salvia sclarea L.*, низкотемпературный стресс, осмотический стресс, селекция *in vitro*, эмбриокультура *in vitro*.

Для цитирования: Егорова Н. А., Ставцева И. В. Влияние осмотического и низкотемпературного стрессовых факторов на развитие *Salvia sclarea L.* в эмбриокультуре *in vitro* // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 34–50. DOI: 10.5281/zenodo.7898454. EDN: BFCWPL.

For citation: Yegorova N. A., Stavtzeva I. V. Influence of osmotic and low-temperature stress factors on the development of *Salvia sclarea L.* in embryoculture *in vitro* // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(33). P. 34–50. DOI: 10.5281/zenodo.7898454. EDN: BFCWPL.

Введение

Глобальное изменение климата и усиливающееся негативное антропогенное воздействие на природу в последние десятилетия способствуют тому, что в растениеводстве одним из важных приоритетов становится создание

устойчивых к действию различных стрессовых факторов систем. Одними из широко распространенных абиотических стрессоров в нашей стране являются экстремальные температуры, засуха, засоление почв и другие. Поэтому создание новых генотипов, резистентных к данным неблагоприятным факторам окружающей среды, является важнейшей задачей селекции сельскохозяйственных культур, в том числе и эфиромасличных растений. Устойчивость к основным абиотическим стрессам и болезням – одно из основных требований, которые предъявляют к современным сортам растений. Получение исходного селекционного материала, отвечающего таким критериям, возможно не только с использованием традиционных методов на основе мутаций и рекомбинаций, но и с применением приемов клеточной инженерии [1, 2]. Такой подход с применением изолированных органов и тканей растений в контролируемых условиях *in vitro* с меньшими затратами времени и ресурсов имеет высокий потенциал не только для создания доноров ценных признаков у экономически важных культур, но и для понимания физиологических и биохимических механизмов формирования устойчивости к стрессам [3].

Клеточная селекция *in vitro* является одним из наиболее перспективных биотехнологических подходов, который позволяет осуществлять отбор генотипов с заранее заданными конкретными признаками, основываясь на сходных механизмах устойчивости на уровне растения и изолированных клеток [1, 3–5]. И хотя этот метод имеет ряд ограничений и требует разработки сложных селективных систем, тем не менее, он достаточно эффективен при создании ценных селекционных форм растений [2, 6, 7]. При выделении устойчивых клеточных линий или соматклонов обычно применяют прямую селекцию, отличающуюся от других экспериментальных приемов тем, что на фоне моделируемого стрессового фактора отбирают единичные жизнеспособные устойчивые к нему клетки или органы.

Достаточно часто в литературе встречаются исследования, направленные на создание засухоустойчивых генотипов, что очень актуально для большинства выращиваемых на юге России сельскохозяйственных культур. В этом случае для имитации действия засухи в состав питательной среды вводят неионные (маннит, сорбит, сахароза, полиэтиленгликоль (ПЭГ)) [8–10] или ионные (NaCl, KCl) [4, 7, 11–13] осмотики. При этом концентрация и тип осмотически активного вещества в значительной степени зависят от вида растений, а также от биотехнологического объекта. Так, при отборе форм, устойчивых к низкой влагообеспеченности, для каллусных культур у лаванды был использован маннит в концентрации 8–10 % [14], а у пшеницы – 8 % ПЭГ [6].

Экспериментальных работ по получению форм, устойчивых к низким температурам в условиях *in vitro*, очень мало. При этом в качестве селективного фактора применяют как положительные (от 4 до 18 °С), так и отрицательные (до –12...–20 °С) температуры [4, 15]. Во втором случае холодовая обработка обычно проводится в несколько этапов, включая закаливание, промораживание и оттаивание культур [14].

При создании селективной системы *in vitro* важно подобрать не только оптимальные режимы стрессового фактора, но и биотехнологический объект. Часто при отборе форм, резистентных к абиотическим факторам и болезням, используют каллусные или суспензионные культуры, в частности, у пшеницы, ячменя, табака, люцерны, картофеля, сахарной свеклы и др. [4, 6, 8, 11]. Необходимо учитывать, что у отобранных устойчивых каллусных линий нередко наблюдается снижение или даже потеря регенерационного потенциала, на что указывают многие

исследователи [2, 4, 7, 10]. Эффективным приемом сохранения регенерационной способности после снятия стрессовой нагрузки является культивирование морфогенных каллусов, что было показано, в частности, для герани и лаванды [14]. В ряде исследований в качестве объектов для отбора *in vitro* успешно использовали зиготические зародыши [9, 15, 16], микрочеренки или микрорастения [12, 13, 17, 18]. Весьма эффективным для некоторых видов растений оказалось последовательное применение различных биотехнологических объектов, например, при отборе форм ячменя, устойчивых к засолению [7], или кориандра – к низкотемпературному стрессу [14].

Одним из перспективных направлений в клеточной селекции является получение в селективных системах *in vitro* каллусных линий или растений, обладающих устойчивостью к различным стрессам [10, 19]. Так, у табака в процессе селекции на устойчивость к засолению и засухе были отобраны формы, обладающие резистентностью не только к этим факторам, но и к черной корневой гнили, а у кукурузы при отборе на фоне осмотика получены образцы, устойчивые к засухе, низким температурам и засолению [14].

Среди эфиромасличных растений семейства *Lamiaceae* одним из наиболее ценных и распространенных в южных регионах России является шалфей мускатный (*Salvia sclarea* L.) [20]. Из его растительного сырья получают эфирное масло (в состав которого входит до 75 % линалилацетата), конкрет, воски, лечебный концентрат «Салмус» и другие биологически активные соединения [21]. В соцветиях данного вида шалфея содержится склареол, который применяют при получении заменителей натуральной амбры, амбриала и амброксиды, необходимых компонентов высококачественных парфюмерных изделий. Все это обуславливает активное применение продуктов переработки шалфея в парфюмерно-косметической, пищевой и табачной промышленности, а также в медицине в качестве противовоспалительного, антибактериального, иммуномодулирующего и обезболивающего средства [22].

Для повышения эффективности селекционного процесса в последние годы в ФГБУН «НИИСХ Крыма» разрабатываются методы клеточной инженерии, в частности, индукции соматической вариативности в каллусной культуре *in vitro*, на основе которой был создан новый сорт шалфея мускатного [14, 23]. Судя по данным литературных источников, биотехнологические исследования у видов рода *Salvia* в основном посвящены разработке методик клонального микроразмножения с использованием культуры изолированных меристем или сегментов стебля [24–27]. В некоторых публикациях освещены вопросы индукции каллусогенеза из разных типов эксплантов и оптимизации условий регенерации растений у *S. sclarea*, *S. officinalis*, *S. hispanica*, *S. nemorosa* [14, 28–30]. Что касается исследований по клеточной селекции на устойчивость к абиотическим стрессам, что весьма перспективно для шалфея, то сведения о них крайне ограничены. Имеются данные о влиянии сорбита и ПЭГ в составе питательной среды на развитие микрорастений *S. stenophylla in vitro* [31], а также о морфогенезе трансгенных растений *S. miltiorrhiza* на фоне NaCl и ПЭГ [32]. В наших предыдущих работах были рассмотрены вопросы оптимизации приемов селекции *S. sclarea* на устойчивость к осмотическому стрессу с использованием культуры изолированных зародышей и была показана целесообразность дальнейшего изучения действия нескольких стрессовых факторов на развитие культур *in vitro* [14, 33].

Цель исследований – изучить особенности влияния осмотического и низкотемпературного стрессов на развитие зиготических зародышей шалфея

мускатного для разработки селективной системы создания устойчивых к этим стрессовым факторам форм *in vitro*.

Материалы и методы исследований

В исследованиях использовали сорта шалфея мускатного (*Salvia sclarea* L.) С-785, Ай-Тодор и Тайган, а также ранее полученные из каллусов образцы растений-регенерантов (R₃-2-1; R₃-2; R₃-3-1; R₃-4-9; R₃-5; R₃-5-6; R₃-2-7; R₃-7-8; R₃-7-9; R₃-10), различающиеся по полевой засухоустойчивости (таблица 1). Коэффициент засухоустойчивости растений (К.З.) у сортов и образцов в полевых условиях рассчитывали по показателям водного обмена [34].

Экспериментальные работы проведены на базе лаборатории биотехнологии ФГБУН «НИИСХ Крыма» в 2019–2020 гг. В качестве эксплантов при введении в асептическую культуру использовали зиготические зародыши, выделенные из зрелых семян. При проведении экспериментов применяли общепринятые методы культуры органов и тканей растений [35], а также методы, разработанные нами ранее для культивирования шалфея *in vitro* [14, 36].

Таблица 1 – Коэффициент полевой засухоустойчивости (%) у сортов и образцов шалфея мускатного (2017–2019 гг.)

Сорт, образец	Коэффициент засухоустойчивости, %	Сорт, образец	Коэффициент засухоустойчивости, %
С-785	27,1 ± 3,0	R ₃ -5	20,3 ± 2,7
Ай-Тодор	41,9 ± 3,5	R ₃ -5-6	64,3 ± 6,4
Тайган	59,9 ± 5,6	R ₃ -2-7	57,4 ± 6,0
R ₃ -2-1	39,6 ± 3,5	R ₃ -7-8	37,7 ± 3,5
R ₃ -2	17,8 ± 2,2	R ₃ -7-9	32,8 ± 3,8
R ₃ -3-1	35,6 ± 3,2	R ₃ -10	14,5 ± 2,2
R ₃ -4-9	62,5 ± 5,9		

Для стерилизации семена при введении в изолированную культуру выдерживали 1 мин в 50,0 % растворе препарата «Брадофен» 10Н (ФЛОРИН АО, Венгрия), а затем трижды промывали автоклавированной дистиллированной водой. Асептические работы проводили в ламинарном боксе БАВнп-01-«Ламинар-С»-1,2 (Россия). Зиготические зародыши выделяли под стереоскопическим микроскопом МБС-10 (ЛОМО, Россия), а затем помещали на питательную среду Мурасиге и Скуга (МС) [37].

В представляемых экспериментах одновременно испытывали действие осмотического и низкотемпературного стресса *in vitro*. При осмотическом стрессе зародыши культивировали на питательной среде Мурасиге и Скуга (МС), содержащей 3,0 (3с), 4,0 (4с) и 5,0 % (5с) сорбита (АО «Вектон», Россия). Моделирование холодного стресса в первом эксперименте проводили в три этапа: 1) закаливание при температуре от 0 до 4 °С (8 сут.); 2) промораживание – при постепенном снижении температуры от 0 до –12...–14 °С с использованием двух вариантов (I вариант: от 0 до –8...–10 °С (4 сут.), II вариант: от 0 до –12...–14 °С (7 сут.); 3) оттаивание при 2...4 °С (4 сут.). Во втором эксперименте экспозиции действия низкой температуры были сокращены. Закаливание проводили при 0–4 °С (3 сут.); промораживание – II варианта при постепенном снижении температуры от 0 до –8...–10 °С (3 сут.) и от 0 до –12...–14 °С (5 сут.); оттаивание – при 0–4 °С (2 сут.). После холодного стресса зародыши пересаживали на свежую питательную среду МС с такой же концентрацией сорбита и переносили в культуральную комнату.

В контрольном варианте зародыши культивировали на безгормональной среде МС без сорбита в условиях культуральной комнаты при 26 ± 2 °С, относительной влажности воздуха 70 %, освещенности – 2–3 клк с 16-часовым фотопериодом. Во втором эксперименте использовали дополнительный контроль, в котором зародыши культивировали на средах с сорбитом, но без холодной обработки. Культивирование зародышей и развивающихся микрорастений проводили в течение 35–40 сут. в пробирках с 10 мл агаризованной питательной среды.

На 10-е сутки культивирования определяли частоту прорастания зародышей (ЧПЗ, %), а на 30-е сутки – частоту развившихся проростков (ЧРП, %), а также измеряли длину побега и корня. ЧРП определяли как отношение числа полноценных проростков к общему числу культивируемых зародышей. Во всех опытах анализируемые параметры рассчитывали также и в % к контролю.

Статистическую обработку данных осуществляли согласно общепринятым методам математической статистики при помощи стандартного пакета документов Microsoft Office Excel (2010). Достоверность отличий оценивали по критерию Стьюдента при $p \leq 0,05$. В таблицах и на графиках представлены средние значения и их стандартные ошибки.

Результаты и их обсуждение

С целью разработки методики селекции *in vitro* исследовано комплексное влияние абиотических стрессов (низкотемпературного и осмотического) на развитие изолированных зиготических зародышей шалфея мускатного. Ранее в наших исследованиях было показано, что культивирование зародышей сортов и образцов шалфея, различающихся по полевой засухоустойчивости, на питательных средах с добавлением осмотически активных веществ (маннит, сорбит, сахароза, NaCl) позволяло дифференцировать генотипы по устойчивости к осмотическому стрессу [33]. При этом были определены эффективные осмотики и их сублетальные дозы, поэтому в данном исследовании использовали сорбит в концентрации 3–5 %. В предварительных опытах по низкотемпературной обработке у *S. sclarea* показана целесообразность использования в качестве эксплантов зрелых зиготических зародышей, а также возможность их промораживания при снижении температуры до $-12...-14$ °С. Поэтому в представляемом эксперименте использовали два варианта низкотемпературного стресса (с разными температурными режимами и экспозицией) и одновременно осмотический стресс, при котором зародыши культивировали на среде МС, дополненной сорбитом. В общей сложности холодная обработка в данном эксперименте длилась 19 суток, включая закаливание, промораживание и оттаивание культур (варианты описаны в предыдущем разделе). В контроле зародыши постоянно культивировали при 26 °С на среде МС без сорбита. После 10 суток культивирования определяли частоту прорастания зародышей (таблица 2), а через месяц – частоту развившихся проростков, их высоту и длину корня (таблицы 3–5).

В исследовании использовали сорта С-785, Ай-Тодор, Тайган и 10 образцов, различающихся по полевой засухоустойчивости. Коэффициенты засухоустойчивости у изучаемых генотипов варьировали от 14,5 до 64,3 % (см. таблицу 1). Как следует из полученных данных, у большинства испытанных генотипов культивируемые *in vitro* зиготические зародыши выдерживали одновременное действие двух стрессовых факторов. Вместе с тем, при сравнении с контролем наблюдали снижение анализируемых параметров по мере

повышения концентрации сорбита в питательной среде и снижения температуры холодной обработки до $-8...-14^{\circ}\text{C}$.

Таблица 2 – Влияние осмотического, низкотемпературного стрессов и генотипа на частоту прорастания зародышей шалфея мускатного *in vitro*, %

Сорт, образец	Контроль	I вариант промораживания			II вариант промораживания		
		3с	4с	5с	3с	4с	5с
С-785	82,4 ± 7,5	13,3 ± 0,9	11,7 ± 0,9	0,0	7,1 ± 0,5	0,0	0,0
Ай-Тодор	70,0 ± 8,3	36,8 ± 3,4	27,8 ± 2,6	10,5 ± 1,5	15,8 ± 1,6	6,7 ± 0,9	0
Тайган	84,2 ± 8,7	50,0 ± 3,7	52,4 ± 4,7	22,2 ± 2,6	26,3 ± 2,8	13,3 ± 1,6	10,5 ± 0,8
R ₃ -2-1	76,0 ± 6,8	42,1 ± 4,8	38,8 ± 3,2	11,8 ± 0,8	21,4 ± 2,0	6,7 ± 0,7	0,0
R ₃ -2	78,9 ± 7,5	21,4 ± 2,5	10,0 ± 0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
R ₃ -3-1	75,0 ± 6,9	40,0 ± 3,8	44,4 ± 3,8	16,7 ± 1,3	12,6 ± 1,5	0,0	0,0
R ₃ -4-9	95,0 ± 8,5	64,3 ± 5,5	47,4 ± 1,9	42,1 ± 3,3	44,4 ± 4,8	26,7 ± 2,4	12,6 ± 1,3
R ₃ -5	94,7 ± 8,7	33,3 ± 2,9	15,8 ± 1,8	0,0	0,0	0,0	0,0
R ₃ -5-6	80,0 ± 6,4	48,4 ± 5,6	52,9 ± 5,4	35,3 ± 3,6	46,7 ± 4,7	31,3 ± 3,5	23,5 ± 2,5
R ₃ -2-7	76,5 ± 6,6	56,3 ± 4,8	31,6 ± 2,7	25,0 ± 1,9	35,3 ± 3,4	21,1 ± 2,4	10,5 ± 1,4
R ₃ -7-8	60,0 ± 4,3	31,6 ± 3,7	15,8 ± 1,8	20,0 ± 1,6	15,8 ± 1,9	0,0	0,0
R ₃ -7-9	90,5 ± 8,4	64,3 ± 5,7	46,7 ± 4,2	26,3 ± 2,2	48,4 ± 4,5	31,6 ± 3,6	6,8 ± 0,8
R ₃ -10	70,0 ± 6,7	6,3 ± 0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
r	0,138	0,751*	0,798*	0,870*	0,796*	0,706*	0,806*
rr	-	0,785*	0,802*	0,869*	0,825*	0,731*	0,796*

Примечание. r – коэффициент корреляции между засухоустойчивостью генотипов (К.З.) и ЧПЗ в эмбриокультуре; rr – коэффициент корреляции между засухоустойчивостью генотипов (К.З.) и ЧПЗ в эмбриокультуре (% к контролю); * – достоверные значения коэффициента корреляции при $p \leq 0,05$.

Таблица 3 – Влияние осмотического, низкотемпературного стрессов и генотипа на частоту развившихся проростков в эмбриокультуре шалфея мускатного, %

Сорт, образец	Контроль	I вариант промораживания			II вариант промораживания		
		3с	4с	5с	3с	4с	5с
С-785	59,2 ± 6,0	8,3 ± 1,0	7,8 ± 0,9	0,0	4,7 ± 0,5	0,0	0,0
Ай-Тодор	43,1 ± 4,2	27,6 ± 2,2	19,9 ± 2,0	5,2 ± 0,7	12,7 ± 1,0	2,2 ± 2,0	0
Тайган	56,1 ± 5,2	36,8 ± 3,3	34,9 ± 3,8	19,9 ± 2,2	24,1 ± 2,0	11,5 ± 1,2	4,7 ± 0,6
R ₃ -2-1	44,9 ± 4,1	32,4 ± 4,0	26,2 ± 2,2	5,3 ± 0,7	22,6 ± 2,4	2,1 ± 0,3	0,0
R ₃ -2	46,8 ± 5,0	15,2 ± 1,5	6,4 ± 0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
R ₃ -3-1	46,4 ± 5,2	25,5 ± 2,0	27,4 ± 3,0	4,8 ± 0,5	10,4 ± 1,0	0,0	0,0
R ₃ -4-9	72,6 ± 6,8	48,2 ± 4,1	28,1 ± 3,2	29,4 ± 3,0	40,1 ± 3,5	24,2 ± 2,2	3,8 ± 0,5
R ₃ -5	70,8 ± 7,2	24,8 ± 3,0	5,6 ± 0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
R ₃ -5-6	55,4 ± 5,9	33,2 ± 3,8	33,6 ± 3,8	34,2 ± 3,1	42,4 ± 3,3	35,6 ± 4,0	9,4 ± 1,0
R ₃ -2-7	47,2 ± 4,3	45,6 ± 4,0	17,2 ± 2,0	21,6 ± 1,8	35,3 ± 2,8	30,2 ± 3,3	4,2 ± 0,5
R ₃ -7-8	35,4 ± 3,8	23,4 ± 2,2	8,5 ± 1,0	20,2 ± 1,9	11,6 ± 1,2	0,0	0,0
R ₃ -7-9	65,2 ± 5,5	43,2 ± 3,6	27,4 ± 2,2	24,2 ± 2,1	44,8 ± 4,2	30,4 ± 3,1	3,5 ± 0,4
R ₃ -10	44,2 ± 3,8	5,4 ± 0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
r	0,151	0,774*	0,793*	0,826*	0,788*	0,696*	0,774*
rr	-	0,743*	0,739*	0,778*	0,818*	0,703*	0,766*

Примечание. r – коэффициент корреляции между засухоустойчивостью генотипов (К.З.) и ЧРП в эмбриокультуре; rr – коэффициент корреляции между засухоустойчивостью генотипов (К.З.) и ЧРП в эмбриокультуре (% к контролю); * – достоверные значения коэффициента корреляции при $p \leq 0,05$.

Следует отметить, что частота прорастания зародышей и развившихся проростков у сорта Тайган и образцов R₃-2-7, R₃-4-9, R₃-5-6 (имеющих наиболее высокие К.З.) были выше при увеличении содержания сорбита, а также при холодовом стрессе по сравнению с генотипами с более низкими К.З. Особенно хорошо различия между генотипами проявились при наиболее жестких режимах стрессов. Так, при втором режиме промораживания на среде с 5 % сорбита проростки (с частотой 3,5–9,4 %) были получены только у Тайгана и R₃-4-9, R₃-5-6, R₃-2-7, R₃-7-9 (имеющих К.З. от 32,8 до 64,3 %). У остальных сортов и образцов с более низкими К.З. проростки в этом варианте опыта не формировались (см. таблицу 3). Наименее устойчивыми к комплексному действию изучаемых стрессов были сорт С-785, образцы R₃-2 и R₃-10 (К.З. от 14,5 до 27,1 %), у которых проростков не отмечено даже при первом варианте промораживания и введении в питательную среду МС 4–5 % сорбита.

Таблица 4 – Влияние осмотического, низкотемпературного стрессов и генотипа на высоту полученных в эмбриокультуре проростков шалфея мускатного, см

Сорт, образец	Контроль	I вариант промораживания			II вариант промораживания		
		3с	4с	5с	3с	4с	5с
С-785	5,2 ± 0,3	0,42 ± 0,05	0,44 ± 0,05	0,0	1,52 ± 0,12	0,0	0,0
Ай-	9,4 ± 0,6	1,34 ± 0,08	0,43 ± 0,04	0,32 ± 0,04	0,34 ± 0,01	0,35 ± 0,01	0,0
Тайган	5,4 ± 0,6	1,33 ± 0,07	1,46 ± 0,07	1,02 ± 0,11	0,45 ± 0,05	0,54 ± 0,03	0,46 ±
R ₃ -2-1	7,8 ± 0,8	1,82 ± 0,10	1,55 ± 0,10	1,13 ± 0,03	0,62 ± 0,07	0,56 ± 0,05	0,0
R ₃ -2	7,3 ± 0,9	0,86 ± 0,06	0,54 ± 0,03	0,0	0,0	0,0	0,0
R ₃ -3-1	7,1 ± 0,8	1,52 ± 0,14	0,92 ± 0,10	0,14 ± 0,03	1,26 ± 0,16	0,0	0,0
R ₃ -4-9	8,7 ± 0,9	0,91 ± 0,06	0,54 ± 0,03	0,23 ± 0,10	1,18 ± 0,10	1,22 ± 0,16	1,43 ±
R ₃ -5	7,2 ± 0,9	0,65 ± 0,04	0,64 ± 0,07	0,0	0,0	0,0	0,0
R ₃ -5-6	7,4 ± 0,9	0,83 ± 0,07	0,93 ± 0,10	0,57 ± 0,10	0,84 ± 0,07	0,44 ± 0,07	0,86 ±
R ₃ -2-7	10,2 ± 0,9	0,87 ± 0,09	0,7 ± 0,04	0,45 ± 0,10	1,15 ± 0,10	0,57 ± 0,08	0,57 ±
R ₃ -7-8	7,5 ± 0,6	1,12 ± 0,09	0,53 ± 0,08	0,55 ± 0,03	0,74 ± 0,08	0,0	0,0
R ₃ -7-9	8,8 ± 0,7	0,74 ± 0,05	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,07	1,14 ± 0,09	0,94 ± 0,08	0,65 ±
R ₃ -10	9,5 ± 0,9	0,76 ± 0,04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
r	0,056	0,278	0,493	0,573	0,411	0,645	0,723*
rr	-	0,356	0,439	0,549	0,628	0,693*	0,764*

Примечание. r – коэффициент корреляции между засухоустойчивостью генотипов (К.З.) и высотой проростков в эмбриокультуре; rr – коэффициент корреляции между засухоустойчивостью генотипов (К.З.) и высотой проростков в эмбриокультуре (% к контролю); * – достоверные значения коэффициента корреляции при $p \leq 0,05$.

О наличии связи между полевой засухоустойчивостью растений и развитием проростков в эмбриокультуре *in vitro* свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции, особенно по признаку «частота развившихся проростков» (см. таблицу 3). Коэффициенты корреляции по этому признаку достигали 0,774–0,826 при максимальном содержании осмотика в среде и обоих вариантах промораживания. Для минимизации разницы между изучаемыми сортами и образцами, обусловленной не полевой устойчивостью, а генотипическими различиями, все параметры были также рассчитаны и в % к контролю. Как видно из полученных данных, коэффициенты корреляции между полевой засухоустойчивостью и основными параметрами (в частности, частотой

прорастания зародышей и развившихся проростков) в % к контролю были такими же или даже выше.

Таблица 5 – Влияние осмотического и низкотемпературного стрессов и генотипа на длину корня у проростков в эмбриокультуре шалфея мускатного, см

Генотип	Контроль	I вариант промораживания			II вариант промораживания		
		3с	4с	5с	3с	4с	5с
С-785	10,2 ± 0,8	2,4 ± 0,2	1,6 ± 0,2	0,0	12,5 ± 0,8	0,0	0,0
Ай-Годор	10,5 ± 0,6	10,4 ± 1,1	5,7 ± 0,3	3,8 ± 0,5	6,5 ± 0,4	4,5 ± 0,5	0,0
Тайган	10,4 ± 0,9	8,9 ± 0,7	8,7 ± 0,6	7,1 ± 0,5	9,6 ± 0,8	10,1 ± 0,8	10,9 ± 1,0
R ₃ -2-1	14,4 ± 1,8	8,2 ± 0,9	9,9 ± 0,7	4,2 ± 0,5	6,0 ± 0,7	4,5 ± 0,4	0,0
R ₃ -2	13,4 ± 0,9	4,3 ± 0,5	4,0 ± 0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
R ₃ -3-1	12,8 ± 1,4	6,2 ± 0,7	6,5 ± 0,5	3,9 ± 0,4	1,8 ± 0,2	1,1 ± 0,1	0,0
R ₃ -4-9	14,3 ± 1,5	6,1 ± 0,7	4,7 ± 0,5	5,2 ± 0,6	8,8 ± 0,6	7,1 ± 0,6	6,5 ± 0,7
R ₃ -5	14,6 ± 1,3	5,5 ± 0,4	3,7 ± 0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
R ₃ -5-6	12,7 ± 0,8	8,4 ± 0,7	8,0 ± 0,6	7,1 ± 0,6	6,9 ± 0,6	5,2 ± 0,5	3,9 ± 0,4
R ₃ -2-7	16,9 ± 1,9	9,3 ± 0,8	8,3 ± 0,5	4,2 ± 0,4	4,7 ± 0,5	4,5 ± 0,4	3,9 ± 0,3
R ₃ -7-8	12,6 ± 0,9	6,8 ± 0,6	7,0 ± 0,7	6,2 ± 0,4	2,1 ± 0,1	0,0	0,0
R ₃ -7-9	15,0 ± 1,6	11,7 ± 0,9	7,8 ± 0,7	7,0 ± 0,7	10,4 ± 0,9	7,1 ± 0,9	4,5 ± 0,5
R ₃ -10	16,5 ± 1,7	1,0 ± 0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
r	-0,155	0,578	0,648	0,778*	0,503	0,766*	0,716*
rr	-	0,573	0,665	0,768*	0,419	0,731*	0,681*

Примечание. r – коэффициент корреляции между засухоустойчивостью генотипов (К.З.) и длиной корня проростков в эмбриокультуре; rr – коэффициент корреляции между засухоустойчивостью генотипов (К.З.) и длиной корня проростков в эмбриокультуре (% к контролю); * – достоверные значения коэффициента корреляции при $p \leq 0,05$.

Изучение влияния стрессовых факторов на морфометрические признаки у сортов и образцов шалфея показало, что высота проростка, длина корня и количество пар листьев существенно уступали контролю. При действии моделируемых стрессов у проростков наблюдали развитие одной пары очень мелких (0,2–0,3 мм) сильно опущенных листьев, тогда как в контроле, в зависимости от генотипа, развивалось от 2,8 до 3,9 пар листьев. Анализ высоты проростков и длины основного корня при действии стрессов показал снижение этих параметров (до 6–22 раз) у генотипов в зависимости от их полевой устойчивости (таблицы 4, 5). У генотипов с высокими К.З. (Тайган, R₃-4-9, R₃-5-6, R₃-2-7) угнетение развития проростков при действии стрессов было меньше, чем у менее устойчивых образцов. Достоверная корреляция между морфометрическими параметрами и К.З. обнаружена только при наиболее жестких режимах стрессов (4–5 % сорбита, II вариант промораживания). Следует отметить, что достоверная корреляция между длиной корня и К.З. генотипов (r – от 0,716 до 0,778) выявлена в трех вариантах опыта, тогда как корреляция между высотой проростка и К.З. генотипов (r – 0,723) – только в одном.

Следует отметить, что наиболее тесная зависимость между полевой устойчивостью и параметрами развития зародышей *in vitro* отмечена по частоте прорастания зародышей и частоте развившихся проростков (во всех вариантах стрессовой обработки выявлены достоверные коэффициенты корреляции от 0,696 до 0,870). Данные параметры целесообразно использовать при оценке или отборе генотипов, а также сравнивать их с наиболее устойчивым сортом Тайган при максимальных режимах моделируемого стресса. В результате эксперимента выделены четыре образца шалфея (R₃-4-9, R₃-5-6, R₃-2-7, R₃-7-9), обладающие

комплексной устойчивостью к действию осмотического и низкотемпературного стрессов в условиях *in vitro*.

Как видно из представленных данных, в проведенном эксперименте продолжительность отбора при комплексном действии двух стрессов достигала 19 суток. Поэтому на следующем этапе исследований проведена оптимизация методики селекции *in vitro* с целью усовершенствования режимов холодового стресса и сокращения сроков отбора устойчивых форм. В этом эксперименте использовали зиготические зародыши трех сортов (С-785, Тайган, Ай-Тодор), различающихся по полевой засухоустойчивости (таблица 1). В контрольных вариантах культивирование проводили без холодной обработки при 26 °С на безгормональной среде МС (Кб/г) или с добавлением сорбита в концентрации 3, 4 и 5 % (соответственно К 3с, К 4с, К 5с). Для изучения комплексного действия стрессов зародыши культивировали при низкотемпературной обработке на средах с сорбитом и с более короткой продолжительностью закалывания, промораживания (два варианта – I и II) и оттаивания. Основными критериями реакции генотипов на действие стрессов использовали частоту прорастания зародышей (ЧПЗ, %) и частоту развившихся проростков (ЧРП, %) (рисунки 1, 2, 3).

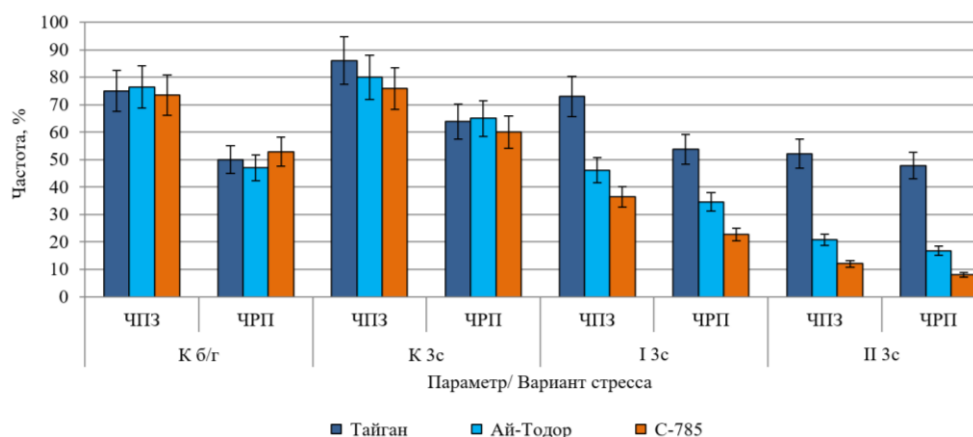


Рисунок 1 – Влияние низкотемпературного стресса и введения в состав питательной среды 3,0 % сорбита на частоту прорастания зародышей (ЧПЗ) и частоту развившихся проростков (ЧРП) в эмбриокультуре шалфея мускатного, %
Примечание. Здесь и далее: Кб/г – контроль, культивирование при 26 °С на МС б/г; К 3с; К 4с; К 5с – культивирование при 26 °С на среде МС с 3, 4, 5 % сорбита соответственно; I 3с; I 4с; I 5с – культивирование при I варианте промораживания на среде МС с 3, 4, 5 % сорбита соответственно; II 3с; II 4с; II 5с – культивирование при II варианте промораживания на среде МС с 3, 4, 5 % сорбита соответственно.

Установлено, что в контроле без низкотемпературного стресса добавление в питательную среду 3 % сорбита (К 3с) стимулировало развитие изолированных зародышей (рисунок 1). Так, частота прорастания зародышей и частота развившихся проростков у всех сортов были в 1,1–1,4 раза выше, чем в контроле (Кб/г). В этом варианте достоверных различий между сортами не отмечено. Культивирование зародышей на средах с более высокой концентрацией сорбита (К 4с и К 5с) позволило дифференцировать изучаемые сорта по устойчивости к осмотику (см. рисунки 2, 3). Так, в варианте К 4с частота прорастания зародышей у Тайгана была в 1,3 раза выше, чем у С-785, а частота развившихся проростков – в 1,5 раза. Сорт Тайган в культуре *in vitro* отличался максимальной устойчивостью к действию осмотического стресса.

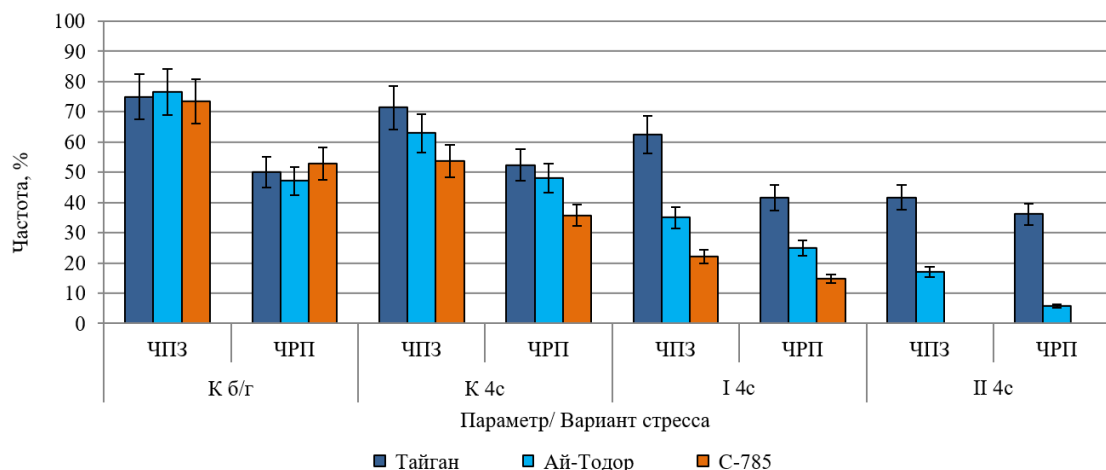


Рисунок 2 – Влияние низкотемпературного стресса и введения в состав питательной среды 4,0 % сорбита на частоту прорастания зародышей (ЧПЗ) и частоту развившихся проростков (ЧРП) в эмбриокультуре шалфея мускатного, %

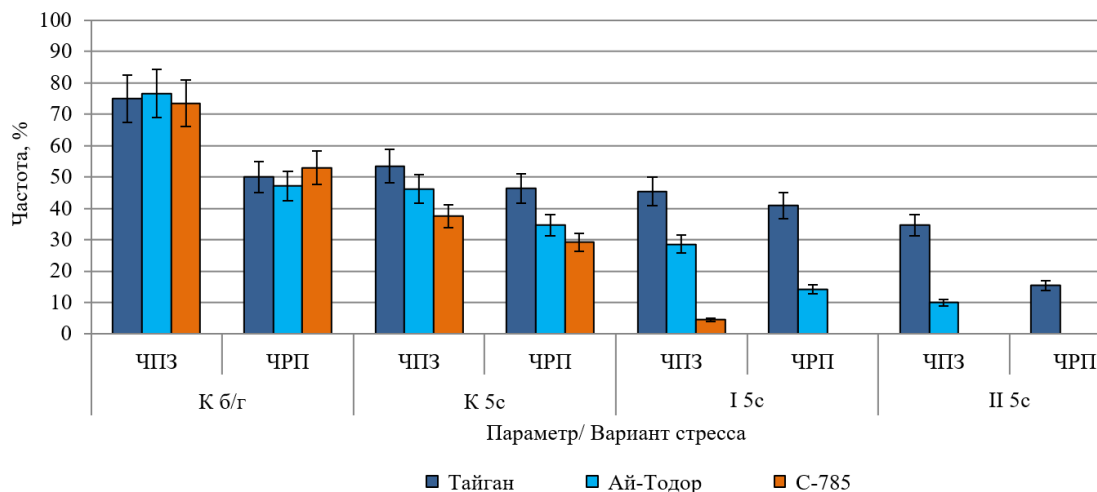


Рисунок 3 – Влияние низкотемпературного стресса и введения в состав питательной среды 5,0 % сорбита на частоту прорастания зародышей (ЧПЗ) и частоту развившихся проростков (ЧРП) в эмбриокультуре шалфея мускатного, %

При исследовании совместного действия низкотемпературного и осмотического стрессов разница между сортами по изучаемым параметрам проявилась в ещё большей степени. Увеличение дозы стрессовых факторов приводило к более резкой дифференциации сортов по устойчивости. Так, в I варианте промораживания на среде с 3 % сорбита (I 3с) частота прорастания зародышей у Тайгана была в 1,6 раз выше, чем у Ай-Тодора и в 2,1 раза по сравнению с С-785 (см. рисунок 1). При более жёстких условиях стрессов (II 5с) у Тайгана зародыши проросли с частотой 34,6 %, у Ай-Тодора – 10,0 %, а у сорта С-785 зародыши не проросли (см. рисунок 3). Следовательно, сокращение длительности низкотемпературного стресса при отборе *in vitro* до 8–10 суток позволило успешно дифференцировать сорта по устойчивости к комплексному стрессу.

Изучение влияния стрессовых факторов на развитие морфологических признаков у изучаемых генотипов показало, что экспериментальные растения по высоте проростка, длине корня и количеству пар листьев существенно уступали контрольным. Так, в варианте I 3с у сорта Тайган высота проростка была в 8,4 раза, длина корня в 4,2 раза ниже, чем в контроле. Однако достоверных различий между сортами по морфологическим признакам во всех вариантах не установлено. Поэтому при отборе устойчивых форм можно не учитывать такие морфологические признаки проростков, как их высота и длина корня. В результате селекции *in vitro* в культуре изолированных зародышей сорта Тайган были отобраны несколько проростков, устойчивых к низкотемпературному и осмотическому стрессу (рисунок 4), семенное потомство которых в дальнейшем будет анализироваться по основным хозяйственно ценным признакам для получения исходного селекционного материала.



Рисунок 4 – Проростки шалфея мускатного сорта Тайган, отобранные в эмбриокультуре после низкотемпературного стресса (II вариант) на питательной среде МС с 5 % маннита (40 сут. культивирования)

Таким образом, при культивировании изолированных зародышей шалфея в моделируемых условиях низкотемпературного и осмотического стрессов наблюдалась корреляция устойчивости на уровне культур *in vitro* и в полевых условиях, что свидетельствует об эффективности разработанного биотехнологического приема для отбора форм с повышенной устойчивостью к этим факторам. Косвенными признаками при отборе форм, устойчивых к комплексному воздействию абиотических стрессов, могут служить частота прорастания зародышей и частота развившихся проростков.

Судя по имеющимся литературным данным, у ряда видов растений при использовании приемов селекции *in vitro* была показана возможность отбора генотипов, устойчивых к нескольким различным стрессовым факторам. Такое направление исследований основано на имеющихся сходных механизмах формирования у растений на клеточном и тканевом уровнях устойчивости к некоторым абиотическим стрессам (солевому, осмотическому, низкотемпературному) [3, 5, 10]. В некоторых случаях отбор *in vitro* на устойчивость к одному стрессору может привести к повышению устойчивости и к другому. Например, у кормовой свеклы получены каллусные линии (а затем и растения-регенеранты), устойчивые одновременно к засолению, низким позитивным температурам и токсину возбудителя бактериоза [10], а у кукурузы в результате клеточной селекции были отобраны регенеранты, проявившие

резистентность к засолению, низкой температуре и засухе [6]. В исследованиях О. Н. Шуплецовой с соавторами в селективных условиях *in vitro* у ячменя были выявлены регенеранты с комплексной устойчивостью к засухе, повышенной кислотности и токсичности алюминия [19].

В результате наших исследований была показана возможность отбора *in vitro* форм шалфея мускатного с комплексной устойчивостью к осмотическому стрессу и низкой температуре. В такой селективной системе культивирование зародышей проводится на питательной среде МС с добавлением 4–5 % сорбита и низкотемпературном стрессе (при промораживании до $-8...-10$ °С в течение трех суток). С другой стороны, культивирование зародышей в селективной системе можно применить и для косвенной оценки устойчивости к данным абиотическим стрессам у различных образцов и сортов. Для такой оценки целесообразно использовать более жесткий режим при снижении температуры в ходе промораживания до $-12...-14$ °С (пять суток). Эффективность такого биотехнологического метода можно повысить, используя для размножения отобранных проростков методику клонального микроразмножения шалфея [14]. В ряде случаев при слабом развитии отобранных устойчивых проростков это необходимо для их дальнейшей успешной адаптации к условиям *ex vitro*. В целом, комплекс разработанных приемов культивирования *in vitro* способствует повышению эффективности создания исходного материала при получении новых устойчивых к стрессам сортов шалфея мускатного.

Выводы

Исследовано развитие изолированных зиготических зародышей у шалфея мускатного в условиях осмотического и низкотемпературного стрессов с целью разработки селективной системы создания устойчивых к этим стрессовым факторам форм *in vitro*. Проведен анализ эмбриокультуры трех сортов и 10 образцов *S. sclarea*, различающихся по засухоустойчивости (коэффициенты засухоустойчивости растений в полевых условиях варьировали от 14,5 до 64,3 %). При сравнении с контролем выявлено снижение анализируемых параметров (частота прорастания зародышей, частота развившихся проростков, длина побега и корня) по мере повышения концентрации сорбита до 5 % в питательной среде МС и снижения температуры при холодной обработке до $-8...-14$ °С. Вместе с тем у генотипов с высокими коэффициентами засухоустойчивости (Тайган, R₃-4-9, R₃-5-6, R₃-2-7) угнетение развития проростков при действии двух стрессоров наблюдалось в меньшей степени, чем у менее устойчивых образцов (С-785, R₃-2, R₃-5, R₃-10), у которых проростки при наиболее жестких режимах не формировались. Максимальные достоверные коэффициенты корреляции (во всех вариантах стрессовой обработки от 0,696 до 0,870) установлены между полевой засухоустойчивостью генотипов и частотой прорастания зародышей или частотой развившихся проростков. При дальнейшей оптимизации методики показано, что сокращение длительности низкотемпературного стресса при отборе *in vitro* с 19 до 8–10 суток (включая закаливание, промораживание и оттаивание культур) позволило успешно дифференцировать сорта по устойчивости к комплексному стрессу. В результате разработана селективная система, которую можно использовать для отбора или для косвенной оценки *in vitro* форм шалфея с комплексной устойчивостью к осмотическому и низкой температуре, включающая культивирование зародышей на средах с 4–5 % сорбита и низкотемпературный стресс (при промораживании до $-8...-14$ °С в течение трех–пяти суток).

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства образования и науки РФ
FNZW-2022-0008.

Литература

1. Калашникова Е. А. Клеточная инженерия растений. М.: Юрайт, 2020. 333 с.
2. Rai M. K., Kalia R. K., Singh R., Gangola M. P., Dhawan A. K. Developing stress tolerant plants through *in vitro* selection – an overview of the recent progress // Environmental and Experimental Botany. 2011. Vol. 71 (1). P. 89–98. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2010.10.021.
3. Hanaka A., Majewska M., Jaroszuk-Ścisiel J. Study of the influence of abiotic and biotic stress factors on horticultural plants // Horticulturae. 2022. Vol. 8 (1). 6 p. DOI: 10.3390/horticulturae8010006.
4. Сидоров В. А. Биотехнология растений. Клеточная селекция. Киев: Наукова думка, 1990. 280 с.
5. Farooqi Z. U. R., Ayub M. A., Zia ur Rehman M., Sohail M.I., Usman M., Khalid H., Naz K. Regulation of drought stress in plants // In book: Plant life under changing environment: responses and management. Chapter 4. Ed. by Tripathi D. K. Academic Press (Elsevier), 2020. P. 77–104. DOI: 10.1016/B978-0-12-818204-8.00004-7.
6. Дубровная О. В. Селекция пшеницы *in vitro* на устойчивость к абиотическим стрессовым факторам // Физиология растений и генетика. 2017. Т. 49. № 4. С. 279–292. DOI: 10.15407/frg2017.04.279.
7. Игнатова С. А. Клеточные технологии в растениеводстве, генетике и селекции возделываемых растений: задачи, возможности, разработки систем *in vitro*. Одесса: Астропринт, 2011. 224 с.
8. Пикало С., Демидов О., Юрченко Т., Хоменко С., Гуменюк О., Харченко М., Прокопик Н. Методи оцінки посухостійкості селекційного матеріалу пшениці // Вісник Львівського університету. 2020. Серія біологічна. Вип. 82. С. 63–79. DOI: 10.30970/vlubs.2020.82.05.
9. Круглова Н.Н., Сельдимирова О.А., Зинатуллина А.Е. Эмбриокультура *in vitro* в экспериментальной оценке засухоустойчивости хлебных злаков (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2 (26). С.127–144. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-127–144.
10. Дубровная О. В., Чугункова Т. В., Бавол А. В., Лялько И. И. Биотехнологічні та цитогенетичні основи створення рослин, стійких до стресів. К.: Логос, 2012. 428 с
11. Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А., Зинатуллина А. Е. Каллусные культуры *in vitro* в экспериментальной оценке засухоустойчивости хлебных злаков (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 124–139. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-124-139.
12. Аминева Е. Ю., Табацкая Т. М., Машкина О. С. Оценка солеустойчивости *Populus L.* в условиях моделируемого стресса *in vitro* // Субтропическое и декоративное садоводство. 2021. № 79. С. 60–66. DOI: 10.31360/2225-3068-2021-79-60-66.
13. Tabatskaya T. M., Mashkina O. S., Korchagin O. M. *In vitro* modeling of salinity stress for the selection of stress-tolerant birch lines // E3S Web of Conferences “Topical problems of agriculture, civil and environmental engineering, TPASCE 2020”. 2020. Vol. 224. Art. No. 04013. DOI: 10.1051/e3sconf/202022404013.
14. Егорова Н. А. Биотехнология эфиромасличных растений: создание новых форм и микроразмножение *in vitro*. Симферополь: ИД «Автограф», 2021. 315 с. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-978-5-6045452-9-4.
15. Егорова Н. А., Ставцева И. В. Использование эмбриокультуры для отбора *in vitro* форм кориандра, устойчивых к низкотемпературному стрессу // Экобиотех. 2019. Т. 2. № 3. С. 369–377. DOI: 10.31163/2618-964X-2019-2-3-369-377.
16. Россеев В. М., Белан И. А., Россеева Л. П. Использование метода *in vitro* в селекции пшеницы мягкой яровой // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (136). С. 5–9.
17. Marssaro A. L., Morais-Lino L.-S., Cruz J. L., da Silva Ledo C. A., dos Santos-Serejo J. A. Simulation of *in vitro* water deficit for selecting drought-tolerant banana genotypes // Pesq. Agropec. Bras. 2017. Vol. 52. No. 12. P. 1301–1304. DOI: 10.1590/s0100-204x2017001200021.
18. Zemlianukhina O., Cherkasova N., Zhuzhzhhalova T., Kalaev V. Biochemical and morphological characteristics of acid-resistant regenerants of sugar beet (*Beta vulgaris L.*) // J. Agric. Sci. Technol. 2017. Vol. 7. No. 6.P. 383–392. DOI: 10.17265/2161-6256/2017.06.003.
19. Шуплецова О. Н., Щенникова И. Н. Результаты использования клеточных технологий в создании новых сортов ячменя, устойчивых к токсичности алюминия и засухе // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20. № 5. С. 623–628. DOI: 10.18699/VJ16.183.

20. Лукомец В. М., Кривошлыков К. М., Зеленцов С. В., Бочкарев Н. И., Мошненко Е. В., Хатнянский В. И., Шуваева Т. П., Бородкина А. П., Пасменко Т. В., Бушнев А. С., Тишков Н. М., Пивень В. Т., Шуляк И. И., Мурадасилова Н. В., Семеренко С. А. Эфиромасличные культуры. Краснодар: Просвещение-Юг, 2017. 295 с.
21. Паштецкий В. С., Тимашева Л. А., Пехова О. А., Данилова И. Л., Серебрякова О. А. Эфирные масла и их качество. Симферополь: Ариал, 2021. 212 с. DOI: 10.33952/2542-0720-978-5-907506-16-9.
22. Aćimović M., Kiproviski 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.
23. Ставцева И. В., Егорова Н. А. 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.
24. Echeverrigaray S., Carrer R. P., Andrade L. B. Micropropagation of *Salvia guaranitica* Benth. through axillary shoot proliferation // Braz. arch. biol. technol. 2010. Vol. 53 (4). P. 883–888. DOI: 10.1590/S1516-89132010000400018.
25. Ghanbar T., Hosseini B., Jabbarzadeh Z., Farokhzad A., Sharafi A. High-frequency *in vitro* direct shoots regeneration from axillary nodal and shoot tip explants of clary sage (*Salvia sclarea* L.) // Bulg. J. Agric. Sci. 2016. Vol. 22. No. 1. P. 73–78.
26. Grigoriadou K., Trika F. A., Tsoktouridis G., Krigas N., Sarropoulou V., Papanastasi K., Maloupa E., Makris A. M. Micropropagation and cultivation of *Salvia sclarea* for essential oil and sclareol production in northern Greece // In Vitro Cell. Dev. Biol. – Plant. 2020. Vol. 56. P. 51–59. DOI: 10.1007/s11627-019-10040-4.
27. Erişen S., Kurt-Gür G., Servi H. *In vitro* propagation of *Salvia sclarea* L. by meta-Topolin, and assessment of genetic stability and secondary metabolite profiling of micropropagated plants // Industrial Crops and Products. 2020. Vol. 157. Art. No. 112892. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112892.
28. Tawfik A. A., Mohamed M. F. Regeneration of salvia (*Salvia officinalis* L.) via induction of meristematic callus // In Vitro Cell. Dev. Biol.–Plant. 2007. Vol. 43. No. 1. P. 21–27. DOI: 10.1007/s11627-006-9002-9.
29. Ioja-Boldura O. M., Radu F., Popescu S., Borozan A. Regeneration, micropropagation, callus cultures and somatic embryogenesis of common sage (*Salvia officinalis* L.) // Bulletin UASVM Horticulture. 2010. Vol. 67(1). P. 308–313.
30. Marconi P. L., López M. C., De Meester J., Bovjin C., Alvarez M.A. *In vitro* establishment of *Salvia hispanica* L. plants and callus // Biotecnología Vegetal. 2013. Vol. 13. No. 4. P. 203–207.
31. Musarurwa H. T., Koegelenberg L., Makunga N. P. Chemical variation in essential oil profiles detected using headspace solid-phase microextraction gas chromatography spectrometry in response to potassium, nitrogen, and water available to micropropagated plants of *Salvia stenophylla* (Burch. ex Benth.) // J Plant Growth Regul. 2012. Vol. 31. P. 207–220. DOI: 10.1007/s00344-011-9232-x.
32. Han L. M., Yu J. N., Ju W. F. Salt and drought tolerance of transgenic *Salvia miltiorrhiza* Bunge with the TaLEA1 gene // Zhi Wu Sheng Li Yu Fen Zi Sheng Wu Xue Xue Bao = Journal of plant physiology and molecular biology. 2007. Vol. 33(2). P. 109–114. PMID: 17452795. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17452795/> (дата обращения 20.02.2023).
33. Егорова Н. А., Ставцева И.В. Использование эмбриокультуры для отбора устойчивых к осмотическому стрессу форм шалфея мускатного *in vitro* // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1 (29). С. 41–56.
34. Моргун В. В., Григорюк И. П., Кравець В. С. Вплив регуляторів росту на водний статус і продуктивність сортів картоплі за умов посухи // Физиология и биохимия культурных растений. 2001. Т. 33. № 5. С. 371–376.
35. Калинин Ф. Л., Сарнацкая В. В., Полищук В. Е. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений. Киев: Наукова думка, 1980. 488 с.
36. Ставцева И. В., Егорова Н. А. Культура изолированных зародышей шалфея и ее использование в селекции. Методические рекомендации. Симферополь, ИЭЛР НААНУ, 2011. 20 с.
37. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // Physiol. Plant. 1962. Vol. 15. No. 3. P. 473–497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x.

References

1. Kalashnikova E. A. Cell engineering of plants. Moscow: Yurayt, 2020. 333 p.

2. Rai M. K., Kalia R. K., Singh R., Gangola M. P., Dhawan A. K. Developing stress tolerant plants through *in vitro* selection – an overview of the recent progress // Environmental and Experimental Botany. 2011. Vol. 71 (1). P. 89–98. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2010.10.021.
3. Hanaka A., Majewska M., Jaroszuk-Ścisiel J. Study of the influence of abiotic and biotic stress factors on horticultural plants // Horticulturae. 2022. Vol. 8 (1). 6 p. DOI: 10.3390/horticulturae8010006.
4. Sidorov V. A. Plant biotechnology. Cell selection. Kyiv: Naukova dumka, 1990. 280 p.
5. Farooqi Z. U. R., Ayub M. A., Zia ur Rehman M., Sohail M.I., Usman M., Khalid H., Naz K. Regulation of drought stress in plants // In book: Plant life under changing environment: responses and management. Chapter 4. Ed. by Tripathi D. K. Academic Press (Elsevier), 2020. P. 77–104. DOI: 10.1016/B978-0-12-818204-8.00004-7.
6. Dubrovnaya O. V. *In vitro* selection of wheat for resistance to abiotic stress factors // Fiziologia rastenij i genetika (Plant physiology and genetics). 2017. Vol. 49. No. 4. P. 279–292. DOI: 10.15407/frg2017.04.279.
7. Ignatova S. A. Cell technologies in plant growing, genetics and breeding of cultivated plants: tasks, opportunities, development of *in vitro* systems. Odessa: Astroprint, 2011. 224 p.
8. Pykalo S., Demidov O., Yurchenko T., Khomenko S., Gumenyuk O., Kharchenko M., Prokopik N. Methods for evaluation of wheat breeding material for drought tolerance // Visnyk of Lviv University. Biological series. 2020. Iss. 82. P. 63–79. DOI: 10.30970/vlubs.2020.82.05.
9. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. Embryo culture *in vitro* in the experimental evaluation of drought resistance in cereals (review) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 2 (26). P. 127–144. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-127-144.
10. Dubrovnaya O. V., Chugunkova T. V., Baval A. V., Lyalko I. I. Biotechnological and cytogenetic basis for creating stress-resistant plants. Kyiv: Logos, 2012. 428 p.
11. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. Callus culture *in vitro* in the experimental evaluation of drought resistance in cereals (review) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 1 (25). P. 124–139. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-124-139.
12. Amineva Ye. Yu., Tabatskaya T. M., Mashkina O. S. Assessment of *Populus L.* salt resistant under simulated stress conditions *in vitro* // Subtropicheskoye i dekorativnoye sadovodstvo (Subtropical and ornamental horticulture). 2021. No. 79. P. 60–66. DOI: 10.31360/2225-3068-2021-79-60-66.
13. Tabatskaya T. M., Mashkina O. S., Korchagin O.M. *In vitro* modeling of salinity stress for the selection of stress-tolerant birch lines // E3S Web of Conferences “Topical problems of agriculture, civil and environmental engineering, TPACEE 2020”. 2020. Vol. 224. Art. No. 04013. DOI: 10.1051/e3sconf/202022404013.
14. Yegorova N. A. Biotechnology of essential oil plants: creation of new forms and micropropagation *in vitro*. Simferopol: “Avtograf”, 2021. 315 p. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-978-5-6045452-9-4.
15. Yegorova N. A., Stavtseva I. V. Use of embryo culture for selection *in vitro* of coriander forms, resistant to low-temperature stress // Ecobiotech. 2019. Vol. 2. No 3. P. 369–377. DOI: 10.31163/2618-964X-2019-2-3-369-377.
16. Rosseyev V. M., Belan I. A., Rosseyeva L. P. The use of *in vitro* method in spring soft wheat selective breeding // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2016. No. 2 (136). P. 5–9.
17. Marssaro A. L., Morais-Lino L.-S., Cruz J. L., da Silva Ledo C. A., dos Santos-Serejo J. A. Simulation of *in vitro* water deficit for selecting drought-tolerant banana genotypes // Pesq. Agropec. Bras. 2017. Vol. 52. No. 12. P. 1301–1304. DOI: 10.1590/s0100-204x2017001200021.
18. Zemlianukhina O., Cherkasova N., Zhuzhzhhalova T., Kalaev V. Biochemical and morphological characteristics of acid-resistant regenerants of sugar beet (*Beta vulgaris L.*) // J. Agric. Sci. Technol. 2017. Vol. 7. No. 6. P. 383–392. DOI: 10.17265/2161-6256/2017.06.003.
19. Shupletsova O. N., Shchennikova I. N. Results of using cell technologies for creation of new barley varieties resistant against aluminum toxicity and drought // Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. 2016. Vol. 20 (5). P. 623–628. DOI: 10.18699/VJ16.183.
20. Lukomets V. M., Krivoslykov K. M., Zelentsov S. V., Bochkarev N. I., Moshnenko E. V., Khatnyansky V. I., Shuvaeva T. P., Borodkina A. P., Pasmenko T. V., Bushnev A. S., Tishkov N. M., Piven V. T., Shulyak I. I., Muradasilova N. V., Semerenko S. A. Essential oil cultures. Krasnodar: Prosveshcheniye-Yug, 2017. 295 p.
21. Pashtetsky V. S., Timasheva L. A., Pekhova O. A., Danilova I. L., Serebryakova O. A. Essential oils and their quality. Simferopol: Arial, 2021. 212 p. DOI: 10.33952/2542-0720-978-5-907506-16-9.

22. Aćimović M., Kiproviski 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.
23. 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.
24. Echeverrigaray S., Carrer R. P., Andrade L. B. Micropropagation of *Salvia guaranitica* Benth. through axillary shoot proliferation // Braz. arch. biol. technol. 2010. Vol. 53 (4). P. 883–888. DOI: 10.1590/S1516-89132010000400018.
25. Ghanbar T., Hosseini B., Jabbarzadeh Z., Farokhzad A., Sharafi A. High-frequency in vitro direct shoots regeneration from axillary nodal and shoot tip explants of clary sage (*Salvia sclarea* L.) // Bulg. J. Agric. Sci. 2016. Vol. 22. No. 1. P. 73–78.
26. Grigoriadou K., Trika F. A., Tsoktouridis G., Krigas N., Sarropoulou V., Papanastasi K., Maloupa E., Makris A.M. Micropropagation and cultivation of *Salvia sclarea* for essential oil and sclareol production in northern Greece // In Vitro Cell. Dev. Biol. – Plant. 2020. Vol. 56. P. 51–59. DOI: 10.1007/s11627-019-10040-4.
27. Erişen S., Kurt-Gür G., Servi H. In vitro propagation of *Salvia sclarea* L. by meta-Topolin, and assessment of genetic stability and secondary metabolite profiling of micropropagated plants // Industrial Crops and Products. 2020. Vol. 157. Art. No. 112892. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112892.
28. Tawfik A. A., Mohamed M. F. Regeneration of salvia (*Salvia officinalis* L.) via induction of meristematic callus // In Vitro Cell. Dev. Biol. – Plant. 2007. Vol. 43. No.1. P. 21–27. DOI: 10.1007/s11627-006-9002-9.
29. Ioja-Boldura O. M., Radu F., Popescu S., Borozan A. Regeneration, micropropagation, callus cultures and somatic embryogenesis of common sage (*Salvia officinalis* L.) // Bulletin UASVM Horticulture. 2010. Vol. 67(1). P 308–313.
30. Marconi P. L., López M. C., De Meester J., Bovjin C., Alvarez M.A. *In vitro* establishment of *Salvia hispanica* L. plants and callus // Biotecnología Vegetal. 2013. Vol. 13. No. 4. P. 203–207.
31. Musarurwa H. T., Koegelenberg L., Makunga N. P. Chemical variation in essential oil profiles detected using headspace solid-phase microextraction gas chromatography spectrometry in response to potassium, nitrogen, and water available to micropropagated plants of *Salvia stenophylla* (Burch. ex Benth.) // J Plant Growth Regul. 2012. Vol. 31. P. 207–220. DOI: 10.1007/s00344-011-9232-x.
32. Han L. M., Yu J. N., Ju W. F. Salt and drought tolerance of transgenic *Salvia miltiorrhiza* Bunge with the TaLEA1 gene // Zhi Wu Sheng Li Yu Fen Zi Sheng Wu Xue Xue Bao = Journal of plant physiology and molecular biology. 2007. Vol. 33(2). P. 109–114. PMID: 17452795. [Electronic resource]. Access point: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17452795/> (reference's date 20.02.2023).
33. Yegorova N. A., Stavtzeva I. V. The use of embryo culture for the selection clary sage forms resistant to osmotic stress *in vitro* // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1 (29). P. 41–56.
34. Morgun V. V., Grigoryuk I. P., Kravets V. S. Influence of growth regulators on water status and productivity of potato cultivars in drought conditions // Physiology and biochemistry of cultivated plants. 2001. Vol. 33. No. 5. P. 371–376.
35. Kalinin F. L., Sarnatskaya V. V., Polishchuk V. E. Methods of tissue culture in plant physiology and biochemistry. Kyiv: Naukova dumka, 1980. 488 p.
36. Stavtzeva I. V., Yegorova N. A. The culture of isolated sage embryos and their use in breeding. Guidelines. Simferopol: Research Institute of Essential Oil and Medicinal Crops, 2011. 20 p.
37. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // Physiol. Plant. 1962. Vol. 15. No. 3. P. 473–497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x.

UDC 633.81:57.085.2

Yegorova N. A., Stavtzeva I. V.

**INFLUENCE OF OSMOTIC AND LOW-TEMPERATURE STRESS
FACTORS ON THE DEVELOPMENT OF *SALVIA SCLAREA* L.
IN EMBRYOCULTURE *IN VITRO***

Summary. *Creation of new genotypes resistant to abiotic stress factors is the most important task of essential oil plants breeding. The purpose of this work was to study the effect of osmotic and low-temperature stresses on the development of clary*

*sage zygotic embryos in order to develop a selective system for creating forms resistant to these stress factors in vitro. Three cultivars and 10 samples of *Salvia sclarea* L. differing in drought resistance were used in the studies. The effects of osmotic and low-temperature stresses were simultaneously tested in vitro. Under osmotic stress, the embryos were cultured on Murashige and Skoog medium containing 3–5% sorbitol. Modeling of cold stress was carried out in three stages with different durations: hardening at 0...4 °C; freezing with a decrease in temperature from 0 to –12...–14 °C; defrosting at 2...4 °C. After low-temperature stress, the embryos were transplanted to medium with the same sorbitol concentration and cultivated at 26 °C and illumination of 2–3 klx. It was found that as the sorbitol concentration increased to 5 % and the temperature decreased to –8...–14 °C, all analyzed parameters (frequency of embryos germination and developed seedlings, shoot and root length) decreased compared to the control. In genotypes with high drought resistance coefficients the inhibition of seedling development under the action of two stressors was much less than in unstable genotypes. The maximum correlation coefficients (from 0.696 to 0.870) were established between the field drought resistance of genotypes and the frequency of embryos germination or developed seedlings. A selective system was developed that can be used for in vitro selection or indirect assessment of *S. sclarea* forms with complex osmotic and low temperature resistance.*

Егорова Наталья Алексеевна, доктор биологических наук, заведующая лабораторией биотехнологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: yegorova.na@mail.ru.

Ставцева Ирина Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ira563583@mail.ru.

Yegorova Natalia Alekseevna, Dr. Sc. (Biol.), head of the Laboratory of biotechnology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: yegorova.na@mail.ru.

Stavtzeva Irina Viktorovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of biotechnology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: ira563583@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 02.02.2023.

Дата принятия к печати – 20.02.2023.

УДК 633.811

DOI: 10.5281/zenodo.7898402

EDN CZEMTV

Золотилов В. А., Невкрытая Н. В., Золотилова О. М., Мишнев А. В.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАСТЕНИЙ КОЛЛЕКЦИИ РОЗЫ ЭФИРОМАСЛИЧНОЙ

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Среди эфиромасличных растений наиболее известным является роза эфиромасличная. Цель исследования – анализ коллекции розы эфиромасличной по ряду показателей основных структурных элементов растений (цветок, лист, побег), дополняющих комплексную характеристику образцов, необходимую для идентификации сортов и при отборе для включения в селекцию. Исследование проведено в 2017–2021 гг. на 50 образцах коллекции ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» в условиях Предгорья Крыма. Анализ данных показателей осуществлен согласно методическим указаниям, в том числе методике оценки на отличимость, однородность и стабильность (ООС). Среднее в коллекции количество лепестков в цветке – $62,1 \pm 2,2$ шт. Самая высокая степень махровости отмечена у 15 (30 %) образцов, в цветках которых насчитывали более 70 лепестков. Масса цветка в коллекции составила в среднем за четыре года $3,3 \pm 0,1$ г при диапазоне изменчивости показателя от 1,6 до 5,2 г. В коллекции выделено 10 (20 %) образцов с массой цветка 4,0 г и более, в том числе сорт Легрина ($4,5 \pm 0,2$ г). Самой высокой она была у образца Г-168 – $5,2 \pm 0,6$ г. Средний диаметр цветка в коллекции составил $6,3 \pm 0,1$ см при диапазоне от 4,8 до 7,6 см. Размерные показатели верхушечного листа: длина – $5,3 \pm 0,1$ см (от 4,3 до 6,9 см по образцам), ширина – $3,1 \pm 0,1$ см (от 2,0 до 4,2 см). Отмечено наличие антоциановой окраски на листьях у 50 % образцов и разная степень проявления этого признака на молодых побегах у 38 % образцов. Определена градация в коллекции по количеству шипов на побегах от слабой у четырех (8 %) образцов до сильной у шести (12 %) образцов. Проведенный анализ коллекции позволяет более полно охарактеризовать коллекцию розы эфиромасличной по комплексу признаков, добавив к традиционно используемым показателям продуктивности признаки из предусмотренных методикой ООС (антоциановая окраска листа и побега, размер и окраска листа, шиповатость побега и пр.), пригодные для идентификации образцов розы эфиромасличной.

Ключевые слова: роза эфиромасличная, коллекция, цветок, лепесток, лист, шиповатость, окраска.

Для цитирования: Золотилов В. А., Невкрытая Н. В., Золотилова О. М., Мишнев А. В. Сравнительный анализ структурных элементов растений коллекции розы эфиромасличной // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 51–62. DOI: 10.5281/zenodo.7898402. EDN: CZEMTV.

For citation: Zolotilov V. A., Nevkrytaya N. V., Zolotilova O. M., Mishnev A. V. Comparative analysis of the structural elements of plants from the essential-oil-bearing rose collection // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(33). P. 51–62. DOI: 10.5281/zenodo.7898402. EDN: CZEMTV.

Введение

В процессе селекционных исследований сельскохозяйственных растений основное внимание концентрируется на показателях продуктивности, а также

устойчивости к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды. Незначительное внимание уделяется детальному анализу морфологических признаков отдельных структурных элементов растения, хотя часто эти показатели могут коррелировать с показателями продуктивности и устойчивости к разным факторам и служить их визуальными маркерами [1, 2].

В последние десятилетия морфологические и структурные признаки возделываемых растений стали изучать более подробно, что обусловлено необходимостью генетической паспортизации сортов с целью их идентификации, в том числе в спорных случаях. В ФГБУ «Госсорткомиссия РФ» разработаны методики испытания на отличимость, однородность и стабильность (ООС) (gossortrf.ru/metodiki-ispytaniy-na-oos/) для всех возделываемых растений, сорта которых включены в «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию» [3]. Без информации, полученной с учетом такой методики, не может быть принята к рассмотрению заявка на регистрацию нового сорта.

Среди эфиромасличных растений наиболее известным является роза эфиромасличная. Основные продукты переработки ее соцветий, прежде всего эфирное масло, широко используют в парфюмерно-косметическом, фармацевтическом, пищевом производствах, медицине [4–6].

Широкий спектр применения продуктов переработки соцветий розы эфиромасличной требует наличия сортов разного направления использования. Одним из основных источников исходного материала для селекционных исследований являются коллекции, включающие дикорастущие образцы флоры разных регионов мира, мутантные, гибридные формы, культурные сорта и пр. В отделе эфиромасличных и лекарственных культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (НИИСХ Крыма) проведено изучение по комплексу признаков специализированной коллекции розы эфиромасличной, входящей в состав коллекции генофонда пряноароматических эфиромасличных и лекарственных растений института (УНУ №507515 (<http://www.ckp-rf.ru>)).

Цель исследований – анализ коллекции розы эфиромасличной по ряду показателей основных структурных элементов растений (цветок, лист, побег), дополняющих комплексную характеристику образцов, необходимую для идентификации сортов и при отборе для включения в селекцию.

Материалы и методы исследований

Анализ ряда структурных элементов растений проведен в 2017–2021 гг. на 50 образцах коллекции розы эфиромасличной, в которую входят: селекционный и гибридный материал, исторические сорта и пять сортов, включенных в «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию» РФ [3]. Собственником и оригинатором всех сортов розы эфиромасличной, входящих в Реестр, является НИИСХ Крыма.

Коллекционный питомник розы эфиромасличной заложен в 2012 г. на экспериментальном участке отдела эфиромасличных и лекарственных культур НИИСХ Крыма, расположенном в предгорной зоне (с. Крымская роза Белогорского района). Территория относится к северному подрайону с умеренно мягкой зимой [7]. Среднегодовая температура воздуха составляет 10 °С. Продолжительность периода с положительной температурой воздуха составляет 292 дня в году. Средняя температура июля – 21 °С, января – минус 0,8 °С. Возможно повышение температуры летом до 40 °С и понижение зимой до –30...–35 °С. Среднеголетняя сумма осадков составляет 498 мм. Среднегодовая влажность воздуха – 70 %. Гидротермический коэффициент (0,91) указывает на засушливый

характер погодных условий. Почва – южный карбонатный, тяжелый суглинистый чернозем (рН – 7,0–8,0).

Годы исследований отличались по погодным условиям. В 2017 г. условия в целом были благоприятными для развития розы. Температурный режим в апреле–июне был близок к среднесуточным показателям ($-0,6 - +1,6^{\circ}\text{C}$ к норме). Но прошедшие в апреле и начале июня обильные осадки (186,2; 151,9 и 83,2 % к норме) задержали цветение. Следующий, 2018 г. был жарким и экстремально засушливым. Среднемесячные температуры в апреле–июне превысили норму на 3,8; 3,1 и 2,8 $^{\circ}\text{C}$ соответственно. Крайне засушливым был апрель, количество осадков составило всего 10,7 % к норме, а в мае и июне – 70,9 и 33,3 %. В первой половине мая выпал лишь один продуктивный дождь – 30 мм при среднемесячной норме 47,4 мм. Более благоприятными были метеоусловия в 2019 г.: весной засушливые (44,4 % осадков от нормы) при нормальном температурном режиме, в июне – жаркие ($+4,1^{\circ}\text{C}$ к норме) с достаточным количеством осадков (96,6 % к норме). В 2020 г. заморозки в марте (до $-8,1^{\circ}\text{C}$) отрицательно повлияли на активность цветения. Ситуация осложнилась и засушливыми условиями апреля (38,8 % осадков от нормы). У ряда образцов цветение было очень слабым, некоторые не цвели вообще, несмотря на близкий к нормальным показателям температурный режим в апреле–июне и обильные осадки в мае и июне (108,9 и 147,2 % от нормы). Следует отметить, что в литературе имеются данные о тенденции к снижению цветения розы при температуре более 32°C и снижению влажности до 29 % [8]. В 2021 г. температурный режим был в пределах нормы. Апрель и особенно май были засушливыми, количество осадков составило 53,8 и 13,5 % от нормы. Количество осадков в июне несколько превысило норму (117,1 %).

В коллекции розы эфиромасличной проанализированы следующие признаки: диаметр, масса и размер цветка; количество лепестков и их окраска; размер, окраска верхушечного листа; форма верхушки листовой пластинки; шиповатость побегов; наличие антоциановой окраски на листьях и побегах.

Анализ данных показателей проведен согласно методическим указаниям, в том числе методике оценки на отличимость, однородность и стабильность (ООС) [9, 10].

В периоды начала, массового и конца цветения отбирали по 25–30 цветков каждого образца соответственно срокам – центральные цветки и цветки первого, второго и третьего порядков в соцветии. Их взвешивали, измеряли диаметр и подсчитывали количество лепестков. Определяли средние показатели признаков.

Параметры верхушечного листа измеряли на трех побегах 10 растений каждого образца (30 измерений). Сравнение размера листовой пластинки проводили по условной площади, которую определяли как произведение длины листа на его ширину в средней части. Отмечали наличие или отсутствие антоциановой окраски.

Количество шипов (шиповатость) подсчитывали на отрезках длиной 20 см из средней части 10 однолетних побегов каждого образца. Оценку проводили по пятибалльной шкале [10]. Одновременно оценивали наличие на побегах антоциановой окраски [9].

Полученные данные обработаны статистически с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2010 [11].

Результаты и их обсуждение

Махровость (количество лепестков) и масса цветка – одни из основных параметров, определяющих урожайность соцветий розы эфиромасличной. Проведенный анализ образцов показал, что среднее в коллекции количество лепестков в цветке составило $62,1 \pm 2,2$ шт. (см. таблицу). Различия между образцами достаточно большие: диапазон изменчивости – 27,6–93,8 шт.,

коэффициент вариации – 25,2 %. Для сравнения: по результатам изучения болгарскими исследователями 25 разновидностей, хемотипов и гибридов эфиромасличных роз, принадлежащих к четырем видам *Rosa* (*Rosa damascena* Mill., *Rosa gallica* L., *Rosa centifolia* L. и *Rosa alba* L.), количество лепестков у *R. damascena* варьировало от 22 до 28 шт. [12]. При исследовании 26 генотипов дамасской розы иранские исследователи установили, что количество лепестков у разных образцов отличалось в диапазоне от 25 до 95 штук. Также выявлены их различия по окраске лепестков (от белой до красной) и массе цветка [13].

Максимальное за годы изучения количество лепестков в цветке составило в среднем $68,3 \pm 2,7$ шт. (при диапазоне 31,5–102,7 шт.). Этот показатель зарегистрирован в 2020 г., когда температурный режим и количество осадков в мае были близкими к среднегодовым показателям.

Таблица – Показатели растений коллекционных образцов розы эфиромасличной (среднее за 2017–2021 гг.)

Показатель*	Масса цветка, г	Количество лепестков, шт.	Диаметр цветка, см	Длина верхушечного листа, см	Ширина верхушечного листа, см	Количество шипов на побеге, шт./20 см
\bar{x}	$3,3 \pm 0,1$	$62,1 \pm 2,2$	$6,3 \pm 0,1$	$5,3 \pm 0,1$	$3,1 \pm 0,1$	$41,1 \pm 3,3$
$\text{Lim } x_{\min}-x_{\max}$	1,6–5,2	27,6–93,8	4,8–7,6	4,3–6,9	2,0–4,2	7,9–114,2
$C_v, \%$	24,6	25,2	11,9	12,5	14,2	56,8

Примечание. * – \bar{x} – среднее, lim – размах варьирования, C_v – коэффициент вариации.

Май 2019 г. характеризовался засушливыми условиями на фоне высоких температур. В цветках сформировалось значительно более низкое количество лепестков – в среднем $55,5 \pm 2,4$ шт. при диапазоне 26,0–89,7 шт. В 2017 г. условия для развития розы в целом сформировались благоприятные. Температурный режим и количество осадков приближались к среднегодовым показателям. Следующий, 2018 г. был жарким и экстремально засушливым. Несмотря на различие метеоусловий в эти годы, показатели махровости цветка были близкими – $63,7 \pm 2,3$ шт. (27,0–97,3 шт.) и $61,7 \pm 2,1$ шт. (27,5–87,3 шт.) соответственно. Это позволяет сделать вывод, что данный показатель стабилен и не зависит от внешних условий.

Проведенный анализ не выявил коррелятивной зависимости между количеством лепестков и наиболее значимым показателем для эфиромасличной розы – массовой долей эфирного масла в соцветиях ($r = -0,21$).

Закономерным был поиск зависимости между массой цветка и махровостью (количеством лепестков). По результатам наших исследований выявлена существенная корреляция между этими признаками ($r = 0,59$). Аналогичные данные были получены иранскими исследователями при сравнительном анализе 40 сортов дамасской розы, собранных в 28 провинциях. Коэффициент Пирсона ($r = 0,64$) показал, что количество лепестков положительно коррелирует с массой цветка [14]. Следовательно, интерес представляют образцы с большим количеством лепестков.

Самая высокая степень махровости отмечена у 15 (30 %) образцов, в цветках которых насчитывали более 70 лепестков. Средним количеством лепестков в цветке (51–70 шт.) характеризовались 23 (46 %) образца. Самым малым количеством лепестков в цветке (до 50 шт.) отличались 12 (24 %) образцов. Из сортов НИИСХ Крыма минимальное количество лепестков имеет сорт Радуга – $45,2 \pm 2,3$ шт. У сортов Лада, Лань и Золушка среднее количество лепестков составило $51,0 \pm 1,4$;

$64,7 \pm 2,7$ и $67,6 \pm 1,3$ шт. соответственно, а максимальным количеством лепестков отличался сорт Легрина – $71,0 \pm 2,7$ шт.

По данным Л. Г. Назаренко средняя масса центрального цветка в зависимости от генотипа может варьировать в пределах от 2,4 до 9,3 г, масса цветков первого порядка – от 2,0 до 8,7 г и второго порядка – от 1,5 до 6,4 г [15].

В соответствии с полученными данными средняя масса цветка в коллекции составила $3,3 \pm 0,1$ г при диапазоне изменчивости от 1,6 до 5,2 г (см. таблицу). По данным болгарских исследователей масса отдельных цветков у *R. damascena* варьировала от 2,09 до 3,44 г [12].

У 20 % образцов коллекции масса цветков была высокой – 4,0 г, а у некоторых растений даже превышала это значение. Самый высокий показатель зафиксирован у образца Г-168 – $5,2 \pm 0,6$ г. Средняя по величине масса цветка (3,0–3,9 г) отмечена у 44 % образцов. Легкими цветками с массой менее 3 г обладали 36 % образцов. Самыми легкими были цветки у образцов Индика ($1,6 \pm 0,7$ г) и Кооператорка ($1,9 \pm 0,2$ г). Среди сортов НИИСХ Крыма самый тяжелый цветок со средней массой $4,5 \pm 0,2$ г отмечен у сорта Легрина. У сортов Лань, Лада и Золушка средняя масса цветка составляла $3,0 \pm 0,1$; $3,5 \pm 0,3$ и $3,6 \pm 0,3$ г. соответственно. Наименьшей массой цветка характеризовался сорт Радуга – $2,7 \pm 0,1$ г.

Выявлено отсутствие корреляции между массой цветка и содержанием в нем эфирного масла: $r = -0,27$.

Достаточно высокая изменчивость массы цветка у образцов коллекции ($C_v = 24,6$ %) указывает на возможность выделения в связи с направлением селекции образцов с разной массой цветка.

Средняя масса цветка в коллекции была максимальной в достаточно благоприятных условиях 2017 г. – $3,9 \pm 0,2$ г при диапазоне 2,21–6,84 г и минимальной в условиях 2018–2019 гг. – $3,0 \pm 0,1$ г при диапазоне 1,2–4,6 и 1,9–5,0 г соответственно. В 2020 г. показатель незначительно отличался от предыдущих двух лет – $3,2 \pm 0,1$ (диапазон 1,9–5,0 г). Проведенные ранее исследования не выявили связи между количеством осадков в период цветения и массой цветка [15].

В 2021 г. дополнительно выполнен сравнительный анализ ряда структурных элементов растений коллекционных образцов розы эфиромасличной: диаметр цветка, форма и параметры верхушечного листа, количество шипов на побеге, окраска листьев и молодых побегов. Эти показатели предусмотрены методикой сортоиспытания на ООС (разработанной, главным образом, для декоративных сортов розы) и пригодны для анализа розы эфиромасличной [10]. Средние показатели приведены в таблице.

Параметры цветка зависят от его расположения в соцветии. Варьирование размеров цветка от центрального в соцветии до цветков второго–четвертого порядков показано на примере сорта Золушка (рисунок 1).

Самыми крупными являются верхушечные цветки. Средний диаметр цветка на растениях коллекции составил $6,3 \pm 0,1$ см. Изменчивость данного показателя в коллекции находилась в пределах от 4,8 до 7,6 см ($C_v = 11,9$ %). Крупный цветок с диаметром более 7 см отмечен у девяти образцов, в том числе сортов НИИСХ Крыма – Радуга ($7,1 \pm 0,1$ см), Легрина ($7,2 \pm 0,3$ см) и Золушка ($7,2 \pm 0,3$ см).

При сравнительном анализе собранных в Пенджабе восьми сортов дамасской розы и родственных видов исследователями выявлена положительная корреляция между диаметром цветка и количеством лепестков ($r = 0,53$) [16]. Однако по нашим данным, коэффициент корреляции составил $r = -0,12$, что говорит об отсутствии такой корреляции. Также установлено отсутствие корреляции между диаметром цветка и массовой долей эфирного масла в соцветиях – $r = -0,10$.



Рисунок 1 – Варьирование размера цветка в соцветии розы эфиромасличной сорта Золушка: 1 – центральный, 2–5 – первый–четвертый порядки соответственно

Немаловажным показателем для розы эфиромасличной является окраска лепестков, так как их используют в кондитерских изделиях и чайных сборах [3]. Окраска лепестков у образцов коллекции – от белой (Белая Казанлыкская) до красной (Молдавская красная 1). У остальных образцов коллекции окраска цветка розовая разной интенсивности – от бледно- до темно-розовой. Для использования в пищевой промышленности могут быть рекомендованы сорта Радуга и Золушка, имеющие наиболее яркую розовую окраску цветка.

Листья у растений образцов коллекции типичные для розы эфиромасличной – очередные, длинночерешковые, сложные непарноперистые и располагаются на побегах спирально. Каждый лист состоит из трех–семи листочков, прикрепленных к общему черешку.

Величина листьев также может зависеть от места расположения их на растении. Средняя длина верхушечного листа коллекционных образцов составила $5,3 \pm 0,1$ см при диапазоне изменчивости по образцам от 4,3 до 6,9 см, а ширина – $3,1 \pm 0,1$ см при диапазоне от 2,0 до 4,2 см. Варибельность данных параметров в коллекции невысокая – 12,5 и 14,2 % соответственно.

Для сравнительной характеристики размера верхушечного листа использовали показатель условной площади листовой пластинки – произведение длины и ширины листа. Средний показатель в коллекции составил $16,7 \text{ см}^2$. Изменчивость условной площади верхушечного листа находилась в пределах от $10,4$ до $27,6 \text{ см}^2$. Варибельность по разным образцам составила 23,4 %. Мелкий лист с условной площадью до 15 см^2 включительно имеют 38 % образцов, средний, площадью $15,1$ – $20,0 \text{ см}^2$ – 34 % образцов, и крупный, площадью $20,1 \text{ см}^2$ и более – 14 % образцов. Из сортов НИИСХ Крыма крупный лист имеют сорта Легрина (условная площадь – $21,8 \text{ см}^2$), Лань ($20,9 \text{ см}^2$) и Золушка ($20,4 \text{ см}^2$).

Интенсивность окраски листьев у образцов коллекции варьировала от светло- до темно-зеленой (рисунок 2). У большинства образцов (68 %) окраска листа темно-зеленая. Среднюю по интенсивности окраску имеют 26 % образцов. И только три образца (6 %) – Лань, Весна и Казанлыкская имеют светло-зеленую окраску листа.

Форма листовой пластинки у большинства (88 %) образцов коллекции яйцевидная. Три образца (Свежен, 138 и Г-172) имеют эллиптическую форму листа, два образца (Индика и 7868) – узкоэллиптическую и один образец (Г-168) – округлую.

Форма верхушки листовой пластинки у 46 образцов острая и лишь у четырех (Молдавская красная 1, А-4848, 782 и 138) – заостренная.

Присутствие на листьях и побегах растений красноватой окраски, как правило, обусловлено наличием антоцианов. Антоциановая окраска может привлекать или отпугивать опылителей или паразитов, служить показателем

реакции на температурный стресс или заболевание [17–19]. У 50 % образцов изученной нами коллекции розы эфиромасличной молодые листья характеризуются присутствием антоциановой окраски (рисунок 3). На побегах 31 (62 %) образца антоциановая окраска отсутствует. Молодые побеги у 19 (38 %) образцов имеют антоциановую окраску разной степени интенсивности. Очень слабо окрашены два (4 %) образца (375 и Г 7505), слабо – пять (10 %: 138, 1138, 3505, 340 и Аура), средне – девять (18 %: Фестивальная, Таврида, Золушка, Лада, Г3550, Г1389, А4848, 7535 и 173), сильно – два (4 %: Джалита и 1993) и очень сильно – один (2 %: Украина).



**Рисунок 2 – Окраска листовой пластинки у образцов розы эфиромасличной:
1 – зеленая, 2 – светло-зеленая, 3 – темно-зеленая**

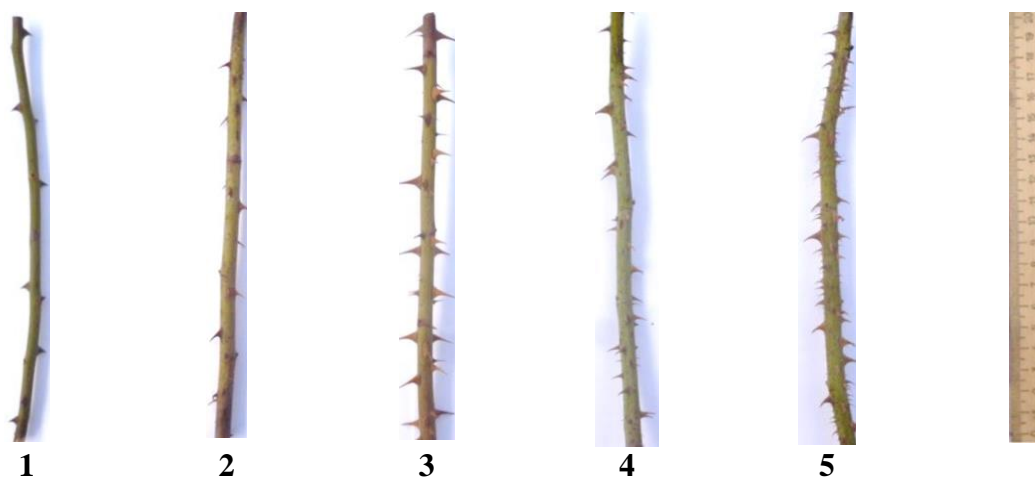


Рисунок 3 – Антоциановая окраска листьев и молодых побегов розы эфиромасличной: 1 – сильная, 2 – слабая, 3 – средняя

Шипы служат естественной защитой разных растений, в том числе и видов рода *Rosa* [20]. Все коллекционные образцы коллекции характеризуются наличием на побегах шипов разных размеров и количества (рисунок 4).

В результате проведенных исследований выделено шесть (12 %) сильношиповатых образцов, побеги которых густо усеяны шипами (более 70 шт./20 см). Количеством шипов от 40 до 70 шт. (шиповатость выше средней)

характеризовались 15 (30 %) образцов, в том числе сорт Радуга ($66,4 \pm 3,9$ шт.) Средняя шиповатость побегов (от 20 до 40 шт.) отмечена у 20 (40 %) образцов. В эту группу вошли сорта НИИСХ Крыма Лада, Легрина и Золушка ($35,6 \pm 2,7$; $29,8 \pm 2,6$ и $27,0 \pm 1,9$ шт. соответственно). Пять (10 %) образцов имеют шиповатость побегов ниже средней (от 10 до 20 шт. шипов), в том числе сорт Лань ($19,2 \pm 2,4$ шт.). И только у четырех (8 %) образцов (Индика, Белая Казанлыкская и Фестивальная и 138) шипы на побегах располагаются очень редко – до 10 шт./20 см побега (слабая шиповатость).



**Рисунок 4 – Шиповатость побегов у образцов розы эфиромасличной:
1, 2 – слабая; 3, 4 – средняя; 5 – выше средней**

Проведенный анализ коллекции позволяет более полно охарактеризовать образцы коллекции розы эфиромасличной по комплексу признаков, увеличить количество проанализированных показателей-идентификаторов и прогнозировать вероятность получения селекционного материала с заданными параметрами.

Выводы

В 2017–2021 гг. проведен сравнительный анализ массы и махровости цветка, а также ряда других структурных элементов растений (цветка, листа и побега) коллекционных образцов розы эфиромасличной.

Среднее в коллекции количество лепестков в цветке – $62,1 \pm 2,2$ шт. Самая высокая степень махровости отмечена у 15 (30 %) образцов, в цветках которых насчитывалось более 70 лепестков.

Масса цветка в коллекции составила в среднем за четыре года $3,3 \pm 0,1$ г при диапазоне изменчивости показателя от 1,6 до 5,2 г. В коллекции выделено 10 (20 %) образцов с массой цветка 4,0 г и более, в том числе сорт Легрина ($4,5 \pm 0,2$ г). Самый высокий показатель у образца Г-168 – $5,2 \pm 0,6$ г.

Средний диаметр цветка у растений коллекции $6,3 \pm 0,1$ см при диапазоне от 4,8 до 7,6 см. Размерные показатели верхушечного листа: длина – $5,3 \pm 0,1$ см (от 4,3 до 6,9 см по образцам), ширина – $3,1 \pm 0,1$ см (от 2,0 до 4,2 см).

Отмечено наличие антоциановой окраски на листьях у 50 % образцов и разная степень проявления этого признака на молодых побегах у 38 % образцов.

Определена градация образцов коллекции по шиповатости (количество шипов на побегах) от слабой у четырех (8 %) до сильной у шести (12 %) образцов.

Не выявлено тесной корреляционной зависимости между визуально регистрируемыми показателями и наиболее ценным показателем розы

эфиромасличной – массовой долей эфирного масла в соцветии. Так, коэффициент корреляции между массовой долей эфирного масла и количеством лепестков в цветке составил $r = -0,21$, между массовой долей эфирного масла и массой цветка – $r = -0,27$, между массовой долей эфирного масла и диаметром цветка – $r = -0,10$.

Проведенный анализ коллекции позволил более полно охарактеризовать образцы коллекции розы эфиромасличной по комплексу признаков, увеличить количество проанализированных показателей-идентификаторов (наличие антоциановой окраски, шиповатость, диаметр цветка, форма и размер верхушечного листа) и прогнозировать вероятность получения селекционного материала с заданными параметрами.

Исследование проведено на базе коллекции генофонда пряноароматических, эфиромасличных и лекарственных растений НИИСХ Крыма, зарегистрированной в РФ как уникальная научная установка УНУ №507515 (<http://www.ckp-rf.ru>).

Литература

1. Найда М. Н., Шлаш М. С. Сравнительная оценка биологических и морфометрических характеристик *Nigella sativa* в условиях Сирии и Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского Государственного аграрного университета. 2019. № 55. С.11–15. DOI: 10.24411/2078-1318-2019-12011.
2. Зарьянова З. А., Кирюхин С. В. Сопряженность семенной продуктивности клевера лугового с его хозяйственными, биологическими и морфологическими признаками // Образование, наука и производство. 2014. № 2(7). С.88–91.
3. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорты растений (по состоянию на 02. 06. 2022). 645 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2022/06/Реестр%20на%20допуск%202022.pdf> (дата обращения 14.07.2022).
4. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В., Мишнев А. В., Назаренко Л. Г. Эфиромасличная отрасль Крыма. Вчера, сегодня, завтра. Симферополь: Ариал, 2018. С. 88–103.
5. Kumari S., Guha Choudhury A. Medicinal Uses of Rose // Vigyan Varta. 2021. Vol. 2(3). P. 49–51.
6. 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. DOI: 10.25637/GVAN2018.01.02.
7. Савчук Л. П. Климат предгорной зоны Крыма и эфирносы. Симферополь: ЧП «Эльиньо», 2006. 76 с.
8. Селекция эфиромасличных культур: методические указания // Под ред. Аринштейн А. И. Симферополь: Всесоюзный научно-исследовательский институт эфиромасличных культур, 1977. 151 с.
9. Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. Роза (*Rosa L.*). Электронный ресурс. Режим доступа: <https://gossortrf.ru/metodiki-ispytaniy-na-oos/> (дата обращения 16.01.2023).
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
11. Nadeem M., Khan M. A., Riaz A., Ahmad R. Evaluation of growth and flowering potential of *Rosa hybrida* cultivars under Faisalabad climatic conditions // Pak. J. Agri. Sci. 2011. Vol. 48(4). P. 283–288.
12. Kovatcheva N., Zheljzakov V. D., Astatki T. Productivity, oil content, composition, and bioactivity of oil-bearing rose accessions // HortScience 2011. Vol. 46(5). P. 710–714. DOI: 10.21273/HORTSCI.46.5.710.
13. Omidi M., Khandan-Mirkohi A., Kaf M., Rasouli O., Shaghaghi A., Kiani M., Zamani Z. Comparative study of phytochemical profiles and morphological properties of some Damask roses from Iran // Chem. Biol. Technol. Agric. 2022. No. 9. Vol. 51. DOI: 10.1186/s40538-022-00316-0.
14. Tabaei-Aghdaei S. R., Babaei A., Khosh-Khui M., Jaimand K., Rezaee M., Assareh M. H., Naghavi M. R. Morphological and oil content variations amongst Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) landraces from different regions of Iran // Scientia Horticulturae. 2007. No. 113(1). P. 44–48. DOI: 10.1016/j.scienta.2007.01.010.
15. Назаренко Л. Г., Коршунов В. А., Кочетков Е. С. Эфиромасличное розоводство. Симферополь: Таврия, 2006. 216 с.

16. Farooq A., Khan M. A., Ali A., Riaz A. Diversity of morphology and oil content of *Rosa damascena* landraces and related *Rosa* species from Pakistan // Pak. J. Agri. Sci. 2011. Vol. 48(3). P. 177–183.
17. Simcha L.-V., Gould K. Role of anthocyanins in plant defence // In book: Anthocyanins. © Springer Science+Business Media, LLC. 2009. P. 22–28. DOI: 10.1007/978-0-387-77335-3_2.
18. Panara F., Passeri V., Lopez L., Porceddu A., Calderini O., Paolocci F. Functional characterization of MtrGSTF7, a glutathione S-transferase essential for anthocyanin accumulation in *Medicago truncatula* // Plants. 2022. No. 11. Art. No. 1318. DOI: 10.3390/plants11101318.
19. Zhou W., Jia M., Zhang G., Sun J., Li Q., Wang X., Hua J., Luo S. Up-regulation of phenylpropanoid biosynthesis system in peach species by peach aphids produces anthocyanins that protect the aphids against UVB and UVC radiation // Tree Physiology. 2021. Vol. 41(3). P. 428–443. DOI: 10.1093/treephys/tpaa132.
20. De L.C. Adaptations in some ornamental plants // Biotica Research Today. 2022. Vol. 4(1). P. 067–070.

References

1. Nayda N. M., Shlash M. S. Comparative evaluation of biological and morphometric characteristics of *Nigella sativa* in the in environmental conditions of Syria and the Leningrad region // Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2019. No. 55. P. 11–15. DOI: 10.24411/2078-1318-2019-12011.
2. Zaryanova Z. A., Kiryukhin S. V. Contingency of seed productivity of meadow clover with its economic, biological and morphological features // Education, Science and Production. 2014. No. 2(7). P. 88–91.
3. 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/Ресстр%20на%20допуск%2022.pdf> (reference’s date 14.07.2022).
4. Pashtetskiy V. S., Nevkrytaya N. V., Mishnev A. V., Nazarenko L.G. Essential oil industry in the Crimea. Yesterday, today, tomorrow. Simferopol: Arial, 2018. P. 88–103.
5. Kumari S., Guha Choudhury A. Medicinal uses of rose // Vigyan Varta. 2021. Vol. 2(3). P. 49–51.
6. 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. DOI: 10.25637/TVAN2018.01.02.
7. 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.
8. Essential oil crops breeding (guidelines) // Ed. by Arinshteyn A. I. Simferopol: All-Union Research Institute of Aromatic Crops (VNIEMK), 1977. 151 p.
9. DUS (uniformity, distinctness, stability) testing methodologies. Rose (*Rosa* L.). [Electronic resource]. Access point: <https://gossortrf.ru/metodiki-ispytaniy-na-oos/> (reference’s date 16.01.2023).
10. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 352 p.
11. Nadeem M., Khan M. A., Riaz A., Ahmad R. Evaluation of growth and flowering potential of *Rosa hybrida* cultivars under Faisalabad climatic conditions // Pak. J. Agri. Sci. 2011. Vol. 48(4). P. 283–288.
12. Kovatcheva N., Zheljazkov V. D., Astatki T. Productivity, oil content, composition, and bioactivity of oil-bearing rose accessions // HortScience 2011. Vol. 46(5). P. 710–714. DOI: 10.21273/HORTSCI.46.5.710.
13. Omid M., Khandan-Mirkohi A., Kaf M., Rasouli O., Shaghghi A., Kiani M., Zamani Z. Comparative study of phytochemical profiles and morphological properties of some Damask roses from Iran // Chem. Biol. Technol. Agric. 2022. No. 9. Art. No. 51. DOI: 10.1186/s40538-022-00316-0.
14. Tabaei-Aghdaei S. R., Babaei A., Khosh-Khui M., Jaimand K., Rezaee M., Assareh M. H., Naghavi M. R. Morphological and oil content variations amongst Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) landraces from different regions of Iran // Scientia Horticulturae. 2007. No. 113(1). P. 44–48. DOI: 10.1016/j.scienta.2007.01.010.
15. Nazarenko L. G., Korshunov V. A., Kochetkov E. S. Essential oil rose growing. Simferopol: Tavria, 2006. 216 p.
16. Farooq A., Khan M. A., Ali A., Riaz A. Diversity of morphology and oil content of *Rosa damascena* landraces and related *Rosa* species from Pakistan // Pak. J. Agri. Sci. 2011. Vol. 48(3). P. 177–183.
17. Simcha L.-V., Gould K. Role of anthocyanins in plant defence // In book: Anthocyanins. © Springer Science+Business Media, LLC. 2009. P. 22–28. DOI: 10.1007/978-0-387-77335-3_2.

18. Panara F., Passeri V., Lopez L., Porceddu A., Calderini O., Paolocci F. Functional characterization of MtrGSTF7, a glutathione S-transferase essential for anthocyanin accumulation in *Medicago truncatula* // *Plants*. 2022. No. 11. Art. No. 1318. DOI: 10.3390/plants11101318.

19. Zhou W., Jia M., Zhang G., Sun J., Li Q., Wang X., Hua J., Luo S. Up-regulation of phenylpropanoid biosynthesis system in peach species by peach aphids produces anthocyanins that protect the aphids against UVB and UVC radiation // *Tree Physiology*. 2021. Vol. 41(3). P. 428–443. DOI: 10.1093/treephys/tpaa132.

20. De L. C. Adaptations in some ornamental plants // *Biotica Research Today*. 2022. Vol. 4(1). P. 067–070.

UDC 633.811

Zolotilov V.A., Nevkrytaya N.V., Zolotilova O.M., Mishnev A.V.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRUCTURAL ELEMENTS OF PLANTS FROM THE ESSENTIAL-OIL-BEARING ROSE COLLECTION

Summary. *Essential-oil-bearing rose is one of the best known and precious essential-oil-bearing plants. The purpose of the present research was to analyze the essential-oil-bearing rose collection by the number of indicators of the main structural elements of plant (flower, leaf, shoot) to supplement the complex characteristics of specimens. This is necessary both for identifying varieties and for selection samples promising for breeding. All the studies were conducted between 2017 and 2021 under conditions of the Crimean foothills. We analyzed 50 specimens from the essential-oil-bearing rose collection, which is located at the trial fields of FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea” (Krymskaya Roza village, Belogorsky district). The research was guided by the methodical recommendations, including DUS (uniformity, distinctness, stability) testing methodologies. Average number of petals in a flower in the collection was 62.1 ± 2.2 pcs. The highest degree of double-flowering was noted in 15 (30%) samples; there were more than 70 petals in the flowers of these specimens. On average for the period of four-year research, the weight of individual flowers in the collection was 3.3 ± 0.1 g (a range of variability of the indicator – from 1.6 to 5.2 g). In the collection, there were 10 (20%) samples with a flower weight of 4.0 g or more, including variety ‘Legrina’ (4.5 ± 0.2 g). Sample ‘G-168’ had the heaviest flower – 5.2 ± 0.6 g. Average flower diameter in the collection was 6.3 ± 0.1 cm (variability of this indicator ranged from 4.8 to 7.6 cm). Apical leaf dimensions: length – 5.3 ± 0.1 cm (variability from 4.3 to 6.9 cm), width – 3.1 ± 0.1 cm (from 2.0 to 4.2 cm). Anthocyanin coloration of the leaves was noted in 50% of samples; different degree of this trait on young shoots – in 38% of samples. Gradation in the collection according to the number of thorns on the shoots was also determined; weak thorn density was found in four (8%) samples, strong – in six (12%). The analysis of the collection allowed us to more fully characterize samples of essential oil-bearing rose by a set of features, adding to the traditionally used indicators some signs from the DUS testing (anthocyanin coloration of leaves and shoots, size and colour of leaf, thorn density, etc.), thereby increasing the number of analyzed indicators-identifiers.*

Keywords: *essential-oil-bearing rose, collection, flower, petal, leaf, thorn density, coloration*

Золотилов Виктор Анатольевич, научный сотрудник лаборатории селекции ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: viktor_zolotilov@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.

Золотилова Ольга Михайловна, научный сотрудник лаборатории поддержания стабильности и качества сортов ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: olya_zolotilova@mail.ru.

Мишнев Александр Васильевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории поддержания стабильности и качества сортов ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: avmishnev@mail.ru.

Zolotilov Viktor Anatolievich, researcher of the Laboratory of breeding, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: viktor_zolotilov@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.

Zolotilova Olga Mikhailovna, researcher of Laboratory for maintaining stability and quality of varieties, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”, 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: olya_zolotilova@mail.ru.

Mishnev Aleksandr Vasilievich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory for maintaining stability and quality of varieties, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: avmishnev@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 15.01.2023.

Дата принятия к печати – 04.04.2023.

УДК 634.75:577.2:575.22
DOI: 10.5281/zenodo.7898457
EDN IOHVNY

Лыжин А. С., Лукьянчук И. В.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНА БИОСИНТЕЗА МЕТИЛАНТРАНИЛАТА (*FanAAMT*) В ГЕНОПЛАЗМЕ СОРТОВ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина»

Реферат. Аромат плодов – важный потребительский признак сортов земляники, обусловленный накоплением в плодах в процессе их созревания комплекса низкомолекулярных летучих органических веществ. Одним из важнейших ароматообразующих соединений плодов земляники является метиловый эфир антраниловой кислоты (метилантранилат). При этом многие современные сорта характеризуются низким содержанием метилантранилата в плодах. Цель работы – маркер-опосредованный скрининг сортов земляники генетической коллекции ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина» по гену *FanAAMT*, вовлечённому в контроль детерминации метилантранилата (кодирует метилтрансферазу антраниловой кислоты), для выявления форм, перспективных для селекции на аромат плодов. Исследования проведены в 2022–2023 гг. В качестве биологических объектов использованы сорта земляники садовой (*Fragaria × ananassa Duch.*) селекции ФГБНУ «ФНЦ им. И. В. Мичурина», а также интродуцированные из различных эколого-географических регионов происхождения. Для идентификации в геноплазме земляники целевого аллеля гена *FanAAMT* использовали праймеры *FanAAMT*. Положительным контролем являлся дикорастущий вид *Fragaria vesca L.* В результате проведённых исследований целевой ампликон размером 1500 п.н., соответствующий функциональному аллелю гена *FanAAMT*, идентифицирован у 38,1 % форм. Среди сортов отечественной селекции ген *FanAAMT* присутствует у 44,4 % генотипов, среди сортов зарубежной селекции – у 33,3 % форм. При этом статистически значимых различий между выборками российских и зарубежных сортов не установлено ($t_{\text{факт}} = 0,3 \leq t_{\text{ст}} = 4,3$). Источниками функционального аллеля гена *FanAAMT* для селекции являются сорта: Елизавета 2, Рубиновый каскад, Славутич, Аму, Joly, Limalexia, Rumba. Сорт Ласточка (922-67 × Привлекательная), созданный в ФНЦ им. И. В. Мичурина, является комплексным источником генов аромата плодов: *FanAAMT* (биосинтез метилантранилата) и *FaOMT* (биосинтез мезифурана). У остальных проанализированных генотипов земляники целевой ампликон маркера *FanAAMT* не выявлен, что свидетельствует об отсутствии гена *FanAAMT*.

Ключевые слова: земляника садовая (*Fragaria × ananassa Duch.*), сорт, генотип, аромат плодов, метилантранилат, молекулярные маркеры.

Для цитирования: Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Идентификация гена биосинтеза метилантранилата (*FanAAMT*) в геноплазме сортов земляники садовой // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 63–69. DOI: 10.5281/zenodo.7898457. EDN: IOHVNY.

For citation: Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V. Identification of methyl anthranilate biosynthesis gene (*FanAAMT*) in the genoplasm of strawberry varieties // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(33). P. 63–69. DOI: 10.5281/zenodo.7898457. EDN: IOHVNY.

Введение

Земляника садовая – популярная во всём мире ягодная культура. Потребителями она ценится за богатый насыщенный вкус с характерным приятным ароматом. Аромат

плодов является характерным признаком генотипа (сорта) и обусловлен накоплением в плодах в процессе их созревания комплекса низкомолекулярных летучих органических веществ, обладающих ароматическими свойствами. Содержание ароматических компонентов составляет от 0,001 % до 0,01 % массы плода [1–3]. Для земляники идентифицировано свыше 360 химических веществ, участвующих в формировании аромата плодов. Вклад отдельных соединений в общее восприятие аромата варьирует, однако наиболее важными являются 20 соединений. Самую большую группу ароматообразующих соединений (до 90 % от общего содержания) составляют сложные эфиры, главным образом метиловые и этиловые [4, 5]. Метиловый эфир антраниловой кислоты (метил-2-аминобензоат, метилантранилат) придаёт плодам земляники характерный «земляничный» аромат, однако у культивируемых сортов он встречается редко [6, 7].

Содержание метилантранилата в плодах земляники определяется соотношением генотипических факторов и влиянием условий окружающей среды, однако вклад генотипа преобладает [8, 9]. Это позволяет выявлять генетические источники и доноры высокого уровня признака, проводить направленные скрещивания. Генетическое детерминирование аромата плодов земляники изучено недостаточно. Биосинтез большинства летучих ароматообразующих веществ контролируется полигенно и обусловлен взаимодействием многих генетических факторов. Однако для некоторых соединений выявлены главные гены (или гены-кандидаты), вносящие основной вклад в формирование признака. К их числу относятся: мезифуран [10], γ -декалактон [11], метилантранилат [12]. Главной генетической детерминантой, определяющей содержание метилантранилата в плодах земляники, является ген *FanAAMT* (contig 1885). Ген *FanAAMT* кодирует фермент метилтрансферазу антраниловой кислоты, катализирующей реакцию биосинтеза метилантранилата из S-аденозил-L-метионина и антранилата. Направленное блокирование транскрипции гена *FanAAMT* приводит к практически полному прекращению накопления метилантранилата в плодах [12].

В настоящее время качеству плодов (привлекательность, органолептические свойства, биохимический состав) вновь создаваемых сортов уделяется особое внимание [13–15] и поэтому многие современные селекционные программы по землянике предусматривают улучшение аромата плодов, в том числе и на основе разработанных диагностических ДНК-маркеров в рамках маркер-опосредованного скрининга [16, 17].

Цель исследований – маркер-опосредованный скрининг сортов земляники генетической коллекции «ФНЦ им. И. В. Мичурина» по гену *FanAAMT*, вовлечённому в контроль детерминации метилантранилата, для выявления форм, перспективных для селекции на аромат плодов.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в 2022–2023 гг. В качестве биологических объектов использованы сорта земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) селекции ФГБНУ «ФНЦ им. И. В. Мичурина», а также интродуцированные из различных эколого-географических регионов происхождения (таблица 1).

Геномную ДНК земляники выделяли из молодых листьев, экстракцию проводили СТАВ методом, модифицированном для культуры земляники.

Для выявления в геноплазме земляники целевого аллеля гена *FanAAMT* использовали праймеры *FanAAMT* (for 5'-ggg att gaa tgc aat ttg tct att ttg cct ttt ttt ctg ta-3, rev 5'-gaa cac tag cat ccc aat cca-3), продуктами амплификации которых являются фрагменты размером 350 и около 1500 п.н. Функциональному аллелю гена

FanAAMT (высокий уровень биосинтеза метилантранилата) на электрофореграмме соответствует ампликон размером 1500 п.н. [12].

Таблица 1 – Анализируемые сорта земляники садовой

Сорт	Комбинация скрещивания	Оригинатор, страна происхождения
Альфа	Фестивальная ромашка × Сюрприз олимпиаде	ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», Россия
Берегиня	Соловушка × Induka	
Кокинская заря	Славутич × 157-7	
Славутич	Фестивальная ромашка × Сюрприз олимпиаде	ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина», Россия
Памяти Зубова	[Фейерверк × (Belrubi × <i>F. ovalis</i> Rydb.)] × Holiday	
Ласточка	922-67 × Привлекательная	
Рубиновый каскад		
Елизавета 2	Клон сорта Queen Elizabeth	ООО НПФ «Донской питомник», Россия
Юниол	Нет доступной информации	ФГБУН «Ордена трудового красного знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Крым, Россия
Albion	Diamante × Cal 94.16-1	University of California Davis, США
Amy	Нет доступной информации	Mazzoni Group, Италия
Aprica	Нет доступной информации	Consorzio Italiano Vivaisti (CIV), Италия
Joly	T2-6 × A20-17	
Murano	R6R1-26 × A030-12	
Vivara	Нет доступной информации	
Brilla	FC 04.256.32	CRA-Unità di Ricerca per la Frutticoltura, Италия
Limalexia	E0011 × E0021	Limgroup, Нидерланды
Rumba	Нет доступной информации	Fresh Forward B.V., Нидерланды
Faith	Нет доступной информации	Flevo Berry, Нидерланды
Sonsation	Нет доступной информации	
Driscoll Jubilee	50C130 × 19A331	Driscoll's, Великобритания

Контролем присутствия в геноме гена *FanAAMT* являлся дикорастущий вид *F. vesca* L. (земляника лесная), плоды которого характеризуются высоким уровнем накопления метилантранилата [8] что подтверждено методом молекулярно-генетического анализа [18].

Полимеразную цепную реакцию проводили в термоциклере T100 (Bio-Rad, США) по описанной ранее [19] программе.

Разделение продуктов амплификации осуществляли методом электрофореза в 2 % агарозном геле. Оценку размера амплифицированных продуктов проводили с использованием маркера молекулярного веса Gene Ruler 100 bp Plus DNA Ladder (Thermo Fisher Scientific, США).

Сопоставление частоты встречаемости гена *FanAAMT* в геноплазме сортов земляники отечественной и зарубежной селекции проводили с использованием критерия Стьюдента для неравновеликих выборок.

Результаты и их обсуждение

В анализируемой коллекции земляники садовой маркерный фрагмент гена *FanAAMT* выявлен у сортов Елизавета 2, Ласточка, Рубиновый каскад, Славутич (отечественной селекции), Amy, Joly, Limalexia, Rumba (зарубежной селекции), что составляет 38,1 % от общего количества генотипов. Среди сортов отечественной селекции ген *FanAAMT* присутствует у 44,4 % генотипов, среди сортов зарубежной

селекции – у 33,3 % форм. Пример идентификации представлен на рисунке 1, результаты – в таблице 2.

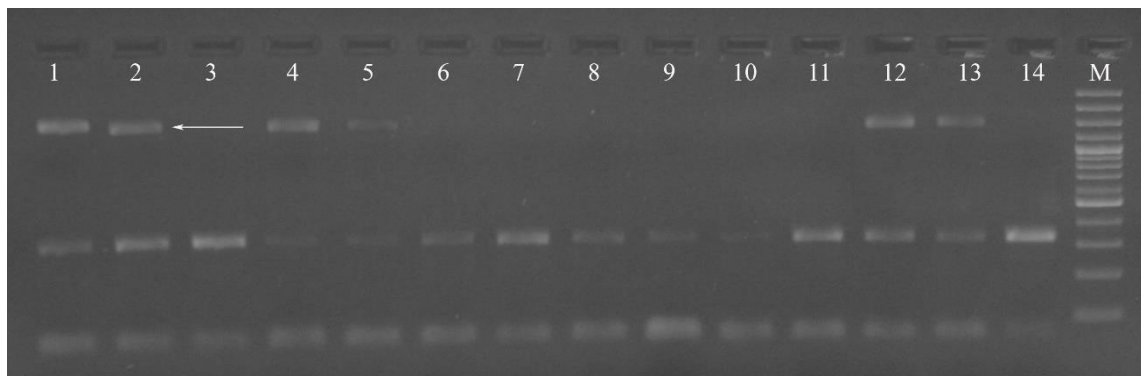


Рисунок 1 – Электрофоретический профиль маркерных фрагментов гена *FanAAMT* у сортов земляники садовой: 1 – *F. vesca* (контроль), 2 – Amy, 3 – Берегиня, 4 – Limalexia, 5 – Славутич, 6 – Альфа, 7 – Aprica, 8 – Brilla, 9 – Памяти Зубова, 10 – Vivara, 11 – Sonsation, 12 – Рубиновый каскад, 13 – Joly, 14 – Faith; М – маркер молекулярного веса ДНК.

Таблица 2 – Результаты маркер-опосредованного скрининга сортов земляники садовой по гену аромата плодов *FanAAMT*

№	Сорт	Ген <i>FanAAMT</i>	
		350 п.н.	1500 п.н.
1	<i>F. vesca</i> L. (контроль)		
2	Альфа	+	
3	Берегиня	+	
4	Елизавета 2	+	+
5	Кокинская заря	+	
6	Ласточка	+	+
7	Памяти Зубова	+	
8	Рубиновый каскад	+	+
9	Славутич	+	+
10	Юниол	+	
11	Albion	+	
12	Amy	+	+
13	Aprica	+	
14	Brilla	+	
15	Driscoll Jubilee	+	
16	Faith	+	
17	Joly	+	+
18	Limalexia	+	+
19	Murano	+	
20	Rumba	+	+
21	Sonsation	+	
22	Vivara	+	

Различия в распространении функционального аллеля гена *FanAAMT* среди отечественных и зарубежных сортов являются статистически недостоверными (при уровне значимости $p \leq 0,05$ $t_{\text{факт}} = 0,3 \leq t_{\text{ст}} = 4,3$). В проведённом ранее исследовании [18] функциональный аллель гена *FanAAMT* был идентифицирован у 31,6 % сортов, доля отечественных сортов с геном *FanAAMT* составила 27,3 %, зарубежных – 37,5 %, при этом различия также были статистически недостоверны.

Анализ происхождения анализируемых сортов земляники показал, что для родительских форм генотипов с идентифицированным геном *FanAAMT* данных о наличии или отсутствии целевого ампликона маркера *FanAAMT* или интенсивности биосинтеза метилантранилата нет. Поэтому для выявления исходных источников гена *FanAAMT* необходимо проведение дополнительных исследований. Необходимо отметить, что сорта Ласточка и Рубиновый каскад селекции ФНЦ им. И. В. Мичурина выделены в одной комбинации скрещивания – 922-67 × Привлекательная, поэтому, предположительно, ген *FanAAMT* был ими унаследован от одной и той же родительской формы. Сорта Славутич и Альфа также получены с использованием одних и тех же родительских форм – сортов Фестивальная ромашка и Сюрприз олимпиаде. При этом у одного сорта (Славутич) ген *FanAAMT* присутствует, а у другого (Альфа) – нет. Кроме того, с использованием сорта Славутич в качестве исходной родительской формы получен сорт Кокинская заря (Славутич × 157-7), который, согласно данным молекулярно-генетического анализа, не имеет ген *FanAAMT*. Полученные результаты свидетельствуют о гетерозиготном сочетании аллелей гена *FanAAMT* у сорта Славутич.

Сорт Ласточка характеризуется гомозиготным состоянием функционального аллеля гена *FaOMT*, вовлечённого в детерминацию биосинтеза мезифурана, а функциональный аллель гена *FaFAD1* (биосинтез γ -декалактона) отсутствует [19]. Таким образом, сорт земляники садовой Ласточка (922-67 × Привлекательная) является перспективным источником функциональных аллелей двух генов ароматического комплекса плодов – *FanAAMT* (биосинтез метилантранилата) и *FaOMT* (биосинтез мезифурана).

Выводы

С использованием молекулярных маркеров ген *FanAAMT*, вовлечённый в детерминацию аромата плодов земляники (кодирует метилтрансферазу антраниловой кислоты), идентифицирован у 38,1 % форм, причём целевой аллель гена выявлен как среди генотипов отечественной селекции, так и среди зарубежных сортов. При этом статистически значимых различий между выборками российских и зарубежных сортов не установлено ($t_{\text{факт}} = 0,3 \leq t_{\text{ст}} = 4,3$). Источниками функционального аллеля гена *FanAAMT* для селекции являются сорта: Елизавета 2, Рубиновый каскад, Славутич, Аму, Joly, Limalexia, Rumba. Сорт Ласточка (922-67 × Привлекательная), созданный в ФНЦ им. И. В. Мичурина, является комплексным источником генов аромата плодов – *FanAAMT* (биосинтез метилантранилата) и *FaOMT* (биосинтез мезифурана).

Литература/References

1. Forney C. F., Kalt W., Jordan M. A. The composition of strawberry aroma is influenced by cultivar, maturity, and storage // HortScience. 2000. No. 35(6). P. 1022–1025. DOI: 10.21273/HORTSCI.35.6.1022.
2. Yan J. W., Ban Z. J., Lu H. Y., Li D., Poverenov E., Luo Z. S., Li L. The aroma volatile repertoire in strawberry fruit: a review // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2018. No. 98(12). P. 4395–4402. DOI: 10.1002/jsfa.9039.
3. Padilla-Jiménez S. M., Angoa-Pérez M. V., Mena-Violante H. G., Oyoque-Salcedo G., Montañez-Soto J. L., Oregel-Zamudio E. Identification of organic volatile markers associated with aroma during maturation of strawberry fruits // Molecules. 2021. No. 26(2). P. 504. DOI: 10.3390/molecules26020504.
4. Fan Z., Hasing T., Johnson T.S., Garner D. M., Schwieterman M. L., Barbey C. R., Colquhoun T. A., Sims C. A., Resende M. F. R., Whitaker V. M. Strawberry sweetness and consumer preference are enhanced by specific volatile compounds // Horticulture Research. 2021. Vol. 8. DOI: 10.1038/s41438-021-00664-2.

5. Li Y., Zhang Y., Liu X., Xiao Y., Zhang Z., Shi Y., Kong W., Yang X., Jiang G., Zhang B., Chen K. Cultivation conditions change aroma volatiles of strawberry fruit // *Horticulturae*. 2021. Vol. 7. P. 81. DOI: 10.3390/horticulturae7040081.
6. Ulrich D., Hoberg E., Rapp A., Kecke S. Analysis of strawberry flavor –discrimination of aroma types by quantification of volatile compounds // *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*. 1997. No. 205(3). P. 218–223. DOI: 10.1007/s002170050154.
7. Olbricht K., Grafe C., Weiss K., Ulrich D. Inheritance of aroma compounds in a model population of *Fragaria* × *ananassa* Duch. // *Plant breeding*. 2008. No. 127(1). P. 87–93. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2007.01422.x.
8. Urrutia M., Rambla J. L., Alexiou K. G., Granell A., Monfort A. Genetic analysis of the wild strawberry (*Fragaria vesca*) volatile composition // *Plant Physiol. Bioch.* 2017. Vol. 121. P. 99–117. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.10.015.
9. Ulrich D., Kecke S., Olbricht K. What do we know about the chemistry of strawberry aroma? // *J. Agric. Food Chem.* 2018. Vol. 66. P. 3291–3301. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b01115.
10. Zorrilla-Fontanesi Y., Rambla J. L., Cabeza A., Medina J. J., Sánchez-Sevilla J. F., Valpuesta V., Botella M. A., Granell A., Amaya I. Genetic analysis of strawberry fruit aroma and identification of O-methyltransferase *FaOMT* as the locus controlling natural variation in mesifurane content // *Plant Physiology*. 2012. No. 159(2). P. 851–870. DOI: 10.1104/pp.111.188318.
11. Chambers A. H., Pillet J., Plotto A., Bai J., Whitaker V. M., Folta K. M. Identification of a strawberry flavor gene candidate using an integrated genetic-genomic-analytical chemistry approach // *BMC Genomics*. 2014. No. 15(1). P. 217. DOI: 10.1186/1471-2164-15-217.
12. Pillet J., Chambers A. H., Barbey C., Bao Z., Plotto A., Bai J., Schwieterman M., Johnson T., Harrison B., Whitaker V. M., Colquhoun T. A., Folta K. M. Identification of a methyltransferase catalyzing the final step of methyl anthranilate synthesis in cultivated strawberry // *BMC Plant Biology*. 2017. No. 17(1). P. 1–12. DOI: 10.1186/s12870-017-1088-1.
13. Giampieri F., Tulipani S., Alvarez-Suarez J. M., Quiles J. L., Mezzetti B., Battino M. The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health // *Nutrition*. 2012. No. 28(1). P. 9–19. DOI: 10.1016/j.nut.2011.08.009.
14. Mezzetti B., Giampieri F., Zhang Y. T., Zhong C. F. Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world // *Journal of Berry Research*. 2018. No. 8(3). P. 205–221. DOI: 10.3233/jbr-180314.
15. Luk'yanchuk I. V., Zhbanova E. V., Lyzhin A. S. Determining consumer appeal of selected garden strawberry varieties (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. No. 14(4). P. 228–241. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-4-228-241.
16. Whitaker V. M. Applications of molecular markers in strawberry // *Journal of Berry Research*. 2011. Vol. 1. P. 115–127. DOI: 10.3233/BR-2011-013.
17. Barbey C. R., Hogshead M. H., Harrison B., Schwartz A. E., Verma S., Oh Y., Lee S., Folta K. M., Whitaker V. M. Genetic analysis of methyl anthranilate, mesifurane, linalool, and other flavor compounds in cultivated strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. P. 615749. DOI: 10.3389/fpls.2021.615749.
18. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Генетическое разнообразие дикорастущих видов и сортов земляники по гену *FanAAMT* ароматического комплекса плодов // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021. Т. 182. №2. С. 72–80. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-72-80. [Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V. Genetic diversity in wild species and cultivars of strawberry for the *FanAAMT* gene controlling fruit flavor volatiles // *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2021. Vol. 182. No. 2. P. 72–80. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-72-80].
19. Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V., Zhbanova E. V. Polymorphism of the *FaOMT* and *FaFAD1* genes for fruit flavor volatiles in strawberry varieties and wild species from the genetic collection of the Michurin Federal Research Center // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020. Vol. 24. No. 1. P. 5–11. DOI: 10.18699/VJ20.588.

UDC 634.75:577.2:575.22

Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V.

IDENTIFICATION OF METHYL ANTHRANILATE BIOSYNTHESIS GENE (*FANAAMT*) IN THE GENOPLASM OF STRAWBERRY VARIETIES

Summary. Fruit aroma is an important consumer trait of strawberry varieties. It is accumulated in the fruit during ripening and is due to a combination of large quantities of volatile aroma-forming organic compounds. One of the most important aroma-forming

compounds is anthranilic acid methyl ester (methyl anthranilate). However, many modern strawberry varieties are characterized by low methyl anthranilate content in fruits. The purpose of the study was marker-assisted screening of strawberry varieties from the genetic collection of FSSI “I. V. Michurin Federal Scientific Center” (hereinafter “I. V. Michurin FSC”) by the *FanAAMT* gene involved in the control of methyl anthranilate determination (encodes anthranilic acid methyltransferase) to identify forms promising in breeding for fruit aroma. The studies were carried out in 2022–2023. Strawberry varieties (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) created at “I. V. Michurin FSC”, as well as those introduced from various ecological and geographical regions of origin, were used as biological objects. Target allele of the *FanAAMT* gene in strawberry genoplasm was identified by *FanAAMT* primers. Wild species of *Fragaria vesca* L. served as a positive control. As a result of the research, the 1500 bp target amplicon, corresponding to the functional allele of the *FanAAMT* gene, was identified in 38.1 % of studied forms. Among the Russian strawberry varieties, the *FanAAMT* gene was present in 44.4 % of genotypes, among varieties of foreign breeding – in 33.3 % of forms. No statistically significant differences between the samples of Russian and foreign varieties were found ($t_{\text{fact}} = 0.3 \leq t_{\text{st}} = 4.3$). The sources of the functional allele of the *FanAAMT* gene for breeding are varieties ‘Elizaveta 2’, ‘Rubinovy kaskad’, ‘Slavutich’, ‘Amy’, ‘Joly’, ‘Limalexia’ and ‘Rumba’. Strawberry variety ‘Lastochka’ (922-67 × ‘Privlekatelnaya’), created at “I.V. Michurin FSC”, is a complex source of fruit aroma genes, namely *FanAAMT* (methyl anthranilate biosynthesis) and *FaOMT* (mesifurane biosynthesis). In the rest of the analyzed strawberry genotypes, target amplicon of the marker *FanAAMT* was not detected indicating the absence of *FanAAMT* gene.

Keywords: strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), variety, genotype, fruit aroma, methyl anthranilate, molecular markers.

Лыжин Александр Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии устойчивости и геномных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина»; 393760 г. Мичуринск, Тамбовская обл., ул. Мичурина, 30; e-mail: Ranenburzhetc@yandex.ru.

Лукьянчук Ирина Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории частной генетики и селекции, ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина»; 393760 г. Мичуринск, Тамбовская обл., ул. Мичурина, 30; e-mail: irina.lk2011@yandex.ru.

Lyzhin Aleksandr Sergeevich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of Laboratory of physiology of resistance and genomic technologies, FSSI “I.V. Michurin Federal Scientific Center”; 30, Michurina str., Michurinsk, Tambov region, 393774, Russia; e-mail: Ranenburzhetc@yandex.ru

Luk'yanchuk Irina Vasilievna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of Laboratory of private genetics and breeding, FSSI “I.V. Michurin Federal Scientific Center”; 30, Michurina str., Michurinsk, Tambov region, 393774, Russia; e-mail: irina.lk2011@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 02.02.2023.

Дата принятия к печати – 22.02.2023.

УДК 633.521:664.72

DOI: 10.5281/zenodo.7898468

EDN CBTAJG

Маслинская М. Е.

НАКОПЛЕНИЕ МАСЛА В СЕМЕНАХ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОДА

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна»

Реферат. Значительное влияние на урожайность семян и ее компоненты, процентное содержание масла и его состав оказывают климатические условия во время развития растений. Целью исследований является изучение накопления масла и изменение его жирнокислотного состава в зависимости от метеорологических условий года для выделения генотипов со стабильно высоким уровнем формирования данных признаков. Исходный материал: сорта льна масличного белорусской селекции Фокус, Визирь, Альянс, Дар, Славянин, Бонус и Салют, который является контролем при испытании сортов в ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений». Полевые опыты заложены в селекционном севообороте лаборатории селекции льна масличного РУП «Института льна» в 2020–2021 гг. на опытных делянках площадью 1 м² в трехкратной повторности согласно методическим указаниям по изучению коллекции льна. Почва опытных участков дерново-подзолистая, среднесуглинистая, предшественники – яровые зерновые. Агрохимическая характеристика почв: рН (KCl) – 5,0–5,5, подвижных форм фосфора (P₂O₅) – 186–190 мг/кг почвы, калия (K₂O) – 210 мг/кг почвы; содержание органического вещества почвы – 1,6 %. В 2020 г. наблюдали более благоприятные условия для роста и развития растений, которые способствовали формированию семян с более высокой их масличностью, на уровне 29,2–44,8 %. Отмечено значительное влияние сорта на величину данного показателя (доля фактора – 74,5 %). Выделены сорта Салют и Фокус, которые характеризовались наиболее высоким содержанием масла в оба года исследований (39,2 и 41,0 % соответственно). При анализе жирнокислотного состава наиболее значительные изменения отмечены по содержанию олеиновой, линолевой, а также α-линоленовой кислот как по годам исследований, так и в зависимости от изучаемого сорта. Как наиболее стабильные выделены сорта Салют, Визирь и Бонус.

Ключевые слова: лен масличный (*Linum usitatissimum* L.), содержание масла, жирнокислотный состав.

Для цитирования: Маслинская М. Е. Накопление масла в семенах льна масличного в зависимости от метеорологических условий года // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 70–79. DOI: 10.5281/zenodo.7898468. EDN: CBTAJG.

For citation: Maslinskaya M. E. Accumulation of oil in linseeds depending on the meteorological conditions of the year // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(33). P. 70–79. DOI: 10.5281/zenodo.7898468. EDN: CBTAJG.

Введение

У льна масличного все признаки изменяются в определенных пределах в зависимости от природно-географических условий выращивания и метеорологических параметров. Известно, что сорта неодинаково проявляют себя в различных условиях выращивания, поэтому и реализация потенциальной продуктивности осуществляется по-разному. При изменении условий выращивания

у растений происходят значительные изменения в формировании количественных и морфологических признаков [1]. Климатические условия могут выступать критическим фактором и оказывать негативное влияние на накопление масла и белка в семенах, а также изменять жирнокислотный состав масла [2]. Установлено, что поздний посев и избыток азотных удобрений приводят к снижению содержания масла и α -линоленовой кислоты в семенах льна, количества коробочек на растении, количества семян в коробочке. Прохладная температура в период цветения способствует повышению урожайности семян и содержания α -линоленовой кислоты [3]. Перепад температур после цветения приводит к резкому изменению жирнокислотного состава масла [4]. Прохладные температуры и достаточное увлажнение в период от цветения до созревания благоприятно сказываются как на содержании, так и на качестве масла [5]. По мере формирования семян уровень пальмитиновой и линолевой кислот снижается, а уровень линоленовой кислоты увеличивается в процентном соотношении. В это же время по содержанию олеиновой кислоты не наблюдается подобной тенденции [6]. Содержание масла находится в линейной зависимости с полиненасыщенными жирными кислотами (линолевой и линоленовой), имеет отрицательную корреляцию с насыщенными жирными кислотами (пальмитиновой и стеариновой), и слабо коррелирует с мононенасыщенными жирными кислотами (олеиновой) [7]. Количество полиненасыщенных жирных кислот, особенно линоленовой, увеличивается, а количество пальмитиновой кислоты уменьшается во время созревания [8]. Резкие колебания температуры в период созревания вызывают относительно большее накопление ненасыщенных жирных кислот. При низких температурах, преобладающих во время созревания, наблюдается снижение концентрации пальмитиновой, стеариновой и олеиновой кислот, и повышение концентрации линолевой и линоленовой кислот [9]. Многие исследователи считают, что изменение содержания масла зависит от генотипических различий, а также отмечают широкий диапазон изменчивости не только в пределах генотипа, но и в отношении климатических условий выращивания [10–12]. Таким образом, температурный режим и влагообеспеченность во время развития растений являются основными факторами, влияющими на урожайность семян и ее компоненты, высоту растений, продолжительность вегетационного периода в целом, процентное содержание масла и его состав [13–15].

Цель исследований – изучить изменение содержания масла в семенах сортов льна масличного белорусской селекции и его жирнокислотного состава в зависимости от метеорологических условий для выделения генотипов со стабильно высоким уровнем формирования данных признаков.

Материал и методы исследований

Закладка полевых опытов осуществлена в селекционном севообороте лаборатории селекции льна масличного РУП «Института льна» (аг. Устье, Республика Беларусь) в 2020–2021 гг. При проведении исследований руководствовались методическими указаниями по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) [16]. Исходный материал: сорта льна масличного белорусской селекции: Фокус, Визирь, Альянс, Дар, Славянин, Бонус и сорт Салют, который является контролем при испытании сортов в ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений».

Почва опытных участков дерново-подзолистая, среднесуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке, подстилаемая с глубины 1 м моренным суглинком. Предшественники – яровые зерновые. Агрохимическая характеристика почв в 2020 г.: рН (KCl) – 5,0, содержание подвижных форм фосфора (P_2O_5) –

190 мг/кг почвы, калия (K_2O) – 210 мг/кг почвы, содержание органического вещества почвы – 1,6 %; в 2021 г. – рН (KCl) – 5,5, содержание подвижных форм фосфора (P_2O_5) – 186 мг/кг почвы, калия (K_2O) – 210 мг/кг почвы, органического вещества почвы – 1,6 %. Опыты заложены из расчета 100 семян на погонный метр 11 мая на делянках 1 м² в трехкратном повторении. Посев и уход осуществляли согласно отраслевому регламенту по возделыванию льна масличного [17].

Метеорологические условия места проведения исследований проанализированы по данным метеостанции города Орши Витебской области [18, 19]. В период проведения посева растений в 2020 г. температурный фон находился на уровне 9,1 °С (на 5,4 °С ниже нормы) при незначительном количестве осадков (7,8 мм или 39 % от нормы), в 2021 г. данный период характеризовался повышенными температурами (на 1,8 °С выше нормы) и количеством осадков 31,9 мм (160 % от нормы). Сформировавшиеся погодные условия способствовали появлению всходов на 7–10 сутки после проведения посева в 2020 г., и на 5–7 сутки в 2021 г. Высокие температуры 1–3 декад июня как в 2020 г., так и в 2021 г. вызвали раннее зацветание растений. Массовое цветение отмечено в 2020 г. в период 17.06–27.06, в 2021 г. – в период 22.06–29.06. В июле 2020 г. зафиксированы температуры на уровне и ниже нормы, период вегетации образцов составил 83–91 суток. В июле 2021 г. установилась жаркая и засушливая погода с незначительным количеством осадков. Сложившиеся условия способствовали быстрому созреванию растений и формированию урожая, имеющего невысокие качественные характеристики. Общая продолжительность вегетационного периода у сортов льна масличного белорусской селекции составила 80–86 суток.

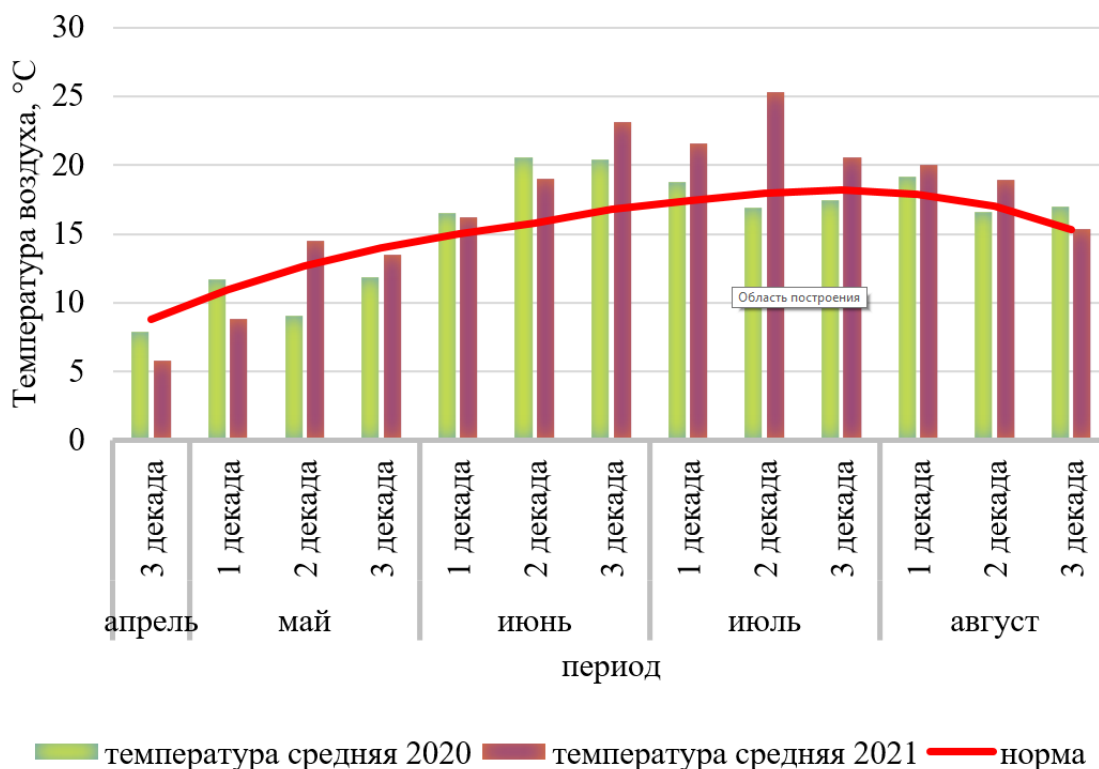
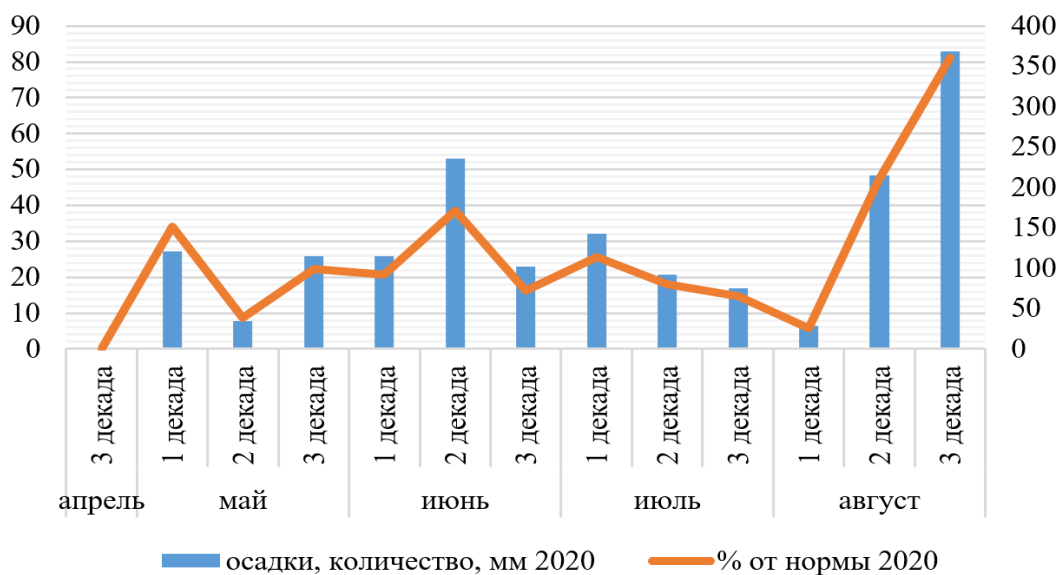
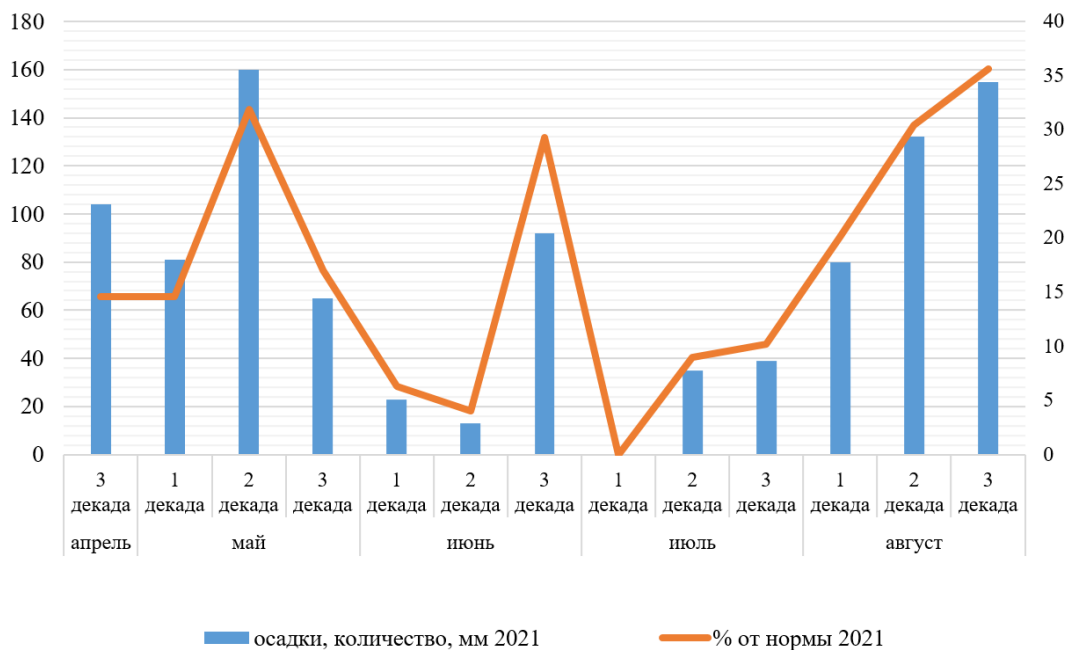


Рисунок 1 – Температурный режим в период вегетации

Содержание масла определено согласно ГОСТ 10857-64 «Семена масличные. Методы определения масличности». Массовая доля жирных кислот в масле, выделенном из семян – на основании СТБ ИСО 15304-2007 [20].



А



Б

Рисунок 2 – Количество осадков в период вегетации льна масличного: А – 2020 г., Б – 2021 г.

Математическую обработку результатов двухфакторного опыта (сорт, год) проводили по методике Б. А. Доспехова с помощью программ Excel и Statistica 10 [21].

Результаты и их обсуждение

Содержание масла в семенах сортов льна масличного урожая 2020 г. составило 29,2–44,8 %, урожая 2021 г. – 28,1–38,3 % (таблица 1). Максимальные значения изучаемого показателя, превышающие контроль, сформированы у сорта Фокус урожая 2020 г., который можно выделить также на основании более высоких средних двух лет изучения. Содержание масла в семенах других изучаемых сортов имело более низкие значения.

Формирование семян с более высокой их масличностью в 2020 г. обусловлено благоприятными условиями для роста и развития растений. Так, сумма активных температур за период вегетации 2020 г. составила 1705 °С при общем количестве выпавших осадков 238,8 мм, условия 2021 г. характеризовались более высоким температурным фоном (1826 °С) и количеством осадков 142,4 мм, что практически вдвое ниже аналогичного периода предыдущего года. При этом у сортов с более высоким процентным содержанием масла в 2020 г. отмечены более высокие значения в 2021 г. Таким образом, накопление масла в семенах обусловлено их сортовыми особенностями.

Таблица 1 – Масличность сортов в годы исследований

Сорт	Содержание масла, %		
	2020 г.	2021 г.	среднее
Салют (контроль)	40,1	38,3	39,2
Альянс	36,2	32,6	34,4
Фокус	44,8	37,2	41,0
Визирь	38,2	32,5	35,4
Бонус	34,6	31,4	33,0
Дар	29,2	31,4	30,3
Славянин	32,1	28,1	30,1
НСР ₀₅	2,0	1,3	

Для установления доли вклада генотипа (сорта), внешних условий (год) и взаимодействия между ними по показателю «содержание масла в семенах» использовали двухфакторный дисперсионный анализ (таблица 2). Полученные результаты свидетельствуют о значительном влиянии на формирование изучаемого показателя сорта (доля фактора – 74,5 %), влияние условий выращивания составило – 14,3 %, взаимодействия между данными факторами – 10,3 %.

Таблица 2 – Вклад факторов в формирование масличности семян по данным двухфакторного дисперсионного анализа

Источник варьирования	Сумма квадратов	Степени свободы	Дисперсия	Fфакт.	F ₀₅	Доля фактора
Фактор А (сорт)	624,60	9	69,40	361,92	2,27	74,5
Фактор В (год)	119,69	1	119,7	624,16	12,71	14,3
Взаимодействие А×В	86,56	9	9,62	50,16	2,27	10,3
Остаток	7,29	38	0,19			

Далее проведен сравнительный анализ жирнокислотного состава масла изучаемых сортов льна масличного урожая 2020 и 2021 гг. Так, средний процент содержания пальмитиновой кислоты в 2020 г. составил 4,8 %, в 2021 – 5,0 %, и лишь у сортов Салют и Визирь отмечено снижение данного показателя на 1,0 и 0,4 процентных пункта соответственно (таблица 3).

Содержание стеариновой кислоты в 2020 г. варьировало в пределах 2,6–3,7 % при среднем содержании 3,0 %, в 2021 г. – 2,5–4,5 % при среднем содержании 3,9 %. По максимальным значениям обеих кислот в течении двух лет исследований выделен сорт Дар, значительно превышающий контрольный сорт Салют (среднее содержание пальмитиновой кислоты – 5,8 %, стеариновой – 4,1 %).

Наиболее значительные изменения отмечены в содержании олеиновой, линолевой, а также α-линоленовой кислот. Сорта урожая 2021 г. характеризовались более высокими значениями содержания олеиновой кислоты (интервал варьирования составил 16,4–21,4 %, среднее содержание – 18,2 % при значениях данного показателя в условиях 2020 г. – 11,1–13,9 и среднем содержании 12,4 %), а

также линолевой кислоты (интервал варьирования составил 14,0–28,9 %, среднее содержание – 17,6 %, при значениях данного показателя в условиях 2020 г. – 12,9–25,9 и среднем содержании 15,6 %). По максимальному содержанию олеиновой кислоты в масле семян в оба года исследований можно выделить сорта Альянс (среднее значение – 16,6 %) и Славянин (среднее значение – 16,8 %). Наибольший процент содержания линолевой кислоты отмечен у сорта Дар (среднее – 27,4 %), что обусловлено измененным жирнокислотным составом данного сорта. Следует отметить значительное снижение содержания полиненасыщенной α -линоленовой кислоты, среднее значение данного показателя в 2020 г. составило 63,7 %, в 2021 г. – 54,9 % при варьировании значений 51,4–66,7 % и 41,1–61,1 % соответственно. Выделены сорта Фокус, Визирь, Бонус, содержание данной кислоты у которых находилось на уровне контрольного сорта Салют.

Таблица 3 – Изменение жирнокислотного состава масла сортов в зависимости от года исследований

Жирная кислота	Год урожая	Сорт							НСР ₀₅
		Салют	Альянс	Фокус	Визирь	Бонус	Дар	Славянин	
Пальмитиновая	2020	4,7	4,6	4,4	5,1	4,5	5,5	4,8	0,14
	2021	3,7	5,2	4,9	4,7	4,8	6,0	5,2	0,26
	среднее	4,2	4,9	4,7	4,9	4,7	5,8	5,0	
Стеариновая	2020	2,6	2,8	3,3	2,8	3,1	3,7	3,0	0,14
	2021	2,5	3,5	4,4	3,4	4,2	4,5	4,0	0,27
	среднее	2,6	3,2	3,9	3,1	3,7	4,1	3,5	
Олеиновая	2020	13,2	13,9	11,8	11,1	11,8	12,9	12,2	0,36
	2021	17,1	19,3	17,3	18,2	18,4	19	21,4	0,55
	среднее	15,2	16,6	14,6	14,7	15,1	16,0	16,8	
Линолевая	2020	14,3	14,6	14	14,2	13,5	25,9	12,9	1,73
	2021	15,2	18	17	16,9	15,2	28,9	18,2	1,79
	среднее	14,8	16,3	15,5	15,6	14,4	27,4	15,6	
γ -линоленовая	2020	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,00
	2021	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,01
	среднее	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
α -линоленовая	2020	64,8	63,7	66,1	66,4	66,7	51,4	66,6	2,09
	2021	61,1	53,5	55,9	56,4	56,8	41,1	50,7	2,41
	среднее	63,0	58,6	61,0	61,4	61,8	46,3	58,7	
Арахидиновая	2020	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,01
	2021	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01
	среднее	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	
Гондоиновая	2020	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,00
	2021	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	среднее	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Бегеновая	2020	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,02
	2021	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,00
	среднее	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	

В ходе исследования установлено значительное варьирование процентного содержания жирных кислот в зависимости от сорта. Анализ содержания пальмитиновой кислоты в 2020–2021 гг. позволил установить интервал варьирования данного показателя в пределах 0,3–1,0 %. Наименьший размах отмечен у сорта Бонус. Разность между максимальным и минимальным значениями процентного содержания стеариновой кислоты составила от 0,1 % у сорта Салют до 1,1 % у сорта Бонус, олеиновой – от 3,9 % у сорта Салют до 9,2 % у сорта Славянин. Размах варьирования содержания линолевой кислоты составил 0,9 (сорт Салют) – 5,3 % (сорт Бонус), α -линоленовой – 3,7 (сорт Салют) – 15,9 % (сорт Бонус).

Для установления влияния метеорологических условий и сортовых особенностей на содержание основных жирных кислот: α -линоленовой, линолевой и олеиновой проведен двухфакторный дисперсионный анализ (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние факторов на накопление основных жирных кислот в масле семян льна масличного по данным двухфакторного дисперсионного анализа

Источник варьирования	Сумма квадратов	Степени свободы	Дисперсия	Fфакт.	F ₀₅	Доля фактора
α-линоленовая кислота						
Фактор А (сорт)	1172,18	9	130,24	421,14	2,27	49,8
Фактор В (год)	1057,01	1	1057,0	3417,87	12,71	44,9
Взаимодействие А×В	112,63	9	12,51	40,46	2,27	4,8
Остаток	11,75	38	0,31			
линолевая кислота						
Фактор А (сорт)	762,69	9	84,74	459,78	2,27	87,4
Фактор В (год)	85,71	1	85,7	465,05	12,71	9,8
Взаимодействие А×В	17,23	9	1,91	10,39	2,27	2,0
Остаток	7,00	38	0,18			
Олеиновая кислота						
Фактор А (сорт)	29,99	9	3,33	14,02	2,27	6,3
Фактор В (год)	412,97	1	413,0	1737,51	12,71	86,8
Взаимодействие А×В	23,83	9	2,65	11,14	2,27	5,0
Остаток	9,03	38	0,24			

Установлено значительное влияние как сорта (доля фактора – 49,8 %), так и года исследований (доля фактора – 44,9 %) на накопление α -линоленовой кислоты, при этом взаимодействие данных факторов было незначительным (доля фактора – 4,8 %).

Накопление линоленовой кислоты обусловлено в значительной мере сортовыми особенностями, доля влияния фактора составила 87,4 % при незначительном влиянии года и взаимодействия изучаемых факторов, доля влияния – 9,8 и 2,0 % соответственно.

В результате проведенного двухфакторного дисперсионного анализа установлено значительное влияние условий года на накопление олеиновой кислоты (доля фактора – 86,8 %).

Выводы

Проведен сравнительный анализ содержания масла и его жирнокислотного состава в семенах урожая 2020 и 2021 гг. Установлено, что в условиях 2021 г. сформировались семена с более низким содержанием масла 28,1–38,3 % при значениях данного показателя в условиях 2020 г. 29,2–44,8 %, чему способствовали более высокий температурный фон и дефицит осадков. Максимальное проявление признака было у сорта Фокус в 2020 г. (который можно выделить также на основании двухлетних данных).

В результате проведения двухфакторного дисперсионного анализа установлено, что накопление масла в семенах обусловлено в значительной мере их сортовыми особенностями (доля фактора 74,5 %).

Отмечено увеличение содержания пальмитиновой (в среднем на 0,2 %), стеариновой (в среднем на 0,8 %), олеиновой (в среднем на 5,8 %) и линолевой (в среднем на 2 %) кислот при анализе жирнокислотного состава масла изучаемых сортов льна масличного урожая 2021 г., а также снижение содержания α -линоленовой кислоты (в среднем на 8,8 %) по сравнению с 2020 г.

По максимальным значениям пальмитиновой (5,8 %) и стеариновой (4,1 %) кислот в оба года исследований, значительно превышающим контрольный сорт Салют,

выделен сорт Дар. Наиболее высокое содержание олеиновой кислоты в масле семян сформировали сорта Альянс (16,6 %) и Славянин (16,8 %). Наибольший процент содержания линолевой кислоты отмечен у сорта Дар (среднее – 27,4 %), что обусловлено его измененным жирнокислотным составом. Выделены сорта Фокус, Визирь, Бонус, содержание α -линоленовой кислоты у которых находилось на уровне контрольного сорта Салют.

Установлены значительные изменения процентного содержания жирных кислот по сортам: пальмитиновой – 0,3–1,0 %, стеариновой 0,1–1,1 %, олеиновой – 3,9–9,2 %, линолевой – 0,9–5,3 %, α -линоленовой – 3,7–15,9 %. Как наиболее стабильный отмечен контрольный сорт Салют, также следует выделить сорта Визирь и Бонус.

Содержание α -линоленовой кислоты обусловлено как генетическими особенностями сорта (доля фактора – 49,8 %), так и условиями года исследований (44,9 %), линолевой – в значительной мере сортовыми особенностями (доля фактора – 87,4 %), олеиновой – в значительной мере условиями года исследований (доля фактора – 86,8 %).

Выделены генотипы со стабильно высоким уровнем формирования признаков: содержанием масла (Салют и Фокус) и накоплением основных жирных кислот (Салют, Визирь, Бонус) по годам исследований.

Литература

1. Дрозд І. Ф. Вплив метеорологічних умов Передкарпаття на морфологічні та біохімічні показники льону олійного // Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2020. № 29. С. 112–122. DOI: 10.36710/ioc-2020-29-11.
2. Шевчук Н. И. Урожайность сортов льна масличного в условиях Присалаирской зоны Алтайского края // Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Молодежная наука – развитию агропромышленного комплекса». Ч. 1. Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. С. 311–316.
3. Rahimi M. M., Nourmohammadi G., Ayneband A., Afshar E., Moafpourian G. Study on planting date and nitrogen levels on yield, yield components and fatty acid of linseed (*Linum usitatissimum* L.) // World Appl. Sci. J. 2011. No. 12(1). P. 59–67.
4. Mustafa H., Hasan E., Hasan M., Sarwar S., Qayyum A., Mahmood T. Influence of climatic conditions on chemical configuration of seeds in safflower, soybean, linseed // Nature and Science. 2016. No. 14(9). P. 125–140.
5. Rubilar M., Gutiérrez C., Verdugo M., Shene C., Sineiro J. Flaxseed as a source of functional ingredients // J. Soil Sci. Pl. Nutr. 2010. No. 10 (3). P. 373–377. DOI: 10.4067/S0718-95162010000100010.
6. Comstock V. E. Early generation selection for high oil content and high oil quality in flax // Technical Bulletin 234. University of Minnesota, Agri. Experiment Station. 1960. 26 p.
7. Склярлов С. В. Результаты изучения признаков коллекции льна с изменённым жирнокислотным составом масла // Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2012. № 2 (151–152). С. 68–74.
8. Bhattia I., Sukhija P. Changes in fatty acids of linseed oil (*Linum usitatissimum* L.) during ripening // Indian J. of Biochem. 1970. No. 7. P. 215–216.
9. Green A. Effect of temperature during seed maturation on oil composition of low-linolenic genotypes of flax // Crop Sci. 1986. No. 26. P. 961–965.
10. Kumar S., You F. M., Duguid S., Booker H., Rowland G., Cloutier S. QTL for fatty acid composition and yield in linseed (*Linum usitatissimum* L.) // Theoretical and applied genetics. 2015. No. 128(5). P. 965–984. DOI: 10.1007/s00122-015-2483-3.
11. Галицкий Д. Н., Шаманин В. П. Влияние условий окружающей среды на накопление масла семенах льна масличного и его качество // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2015. № 2. С. 18–24.
12. Gordeyeva Y., Shestakova N. The influence of agroclimatic factors on the formation of oil content in flax seeds in the North of Kazakhstan // Journal of Ecological Engineering. 2018. No. 19. P. 102–105. DOI:10.12911/22998993/85740.
13. Casa R., Russell G., Lo-Cascio B., Rossini F. Environmental effects on linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield and growth of flax at different stand densities // European J. of Agron. 1999. No. 11. P. 267–278. DOI: 10.1016/S1161-0301(99)00037-4.

14. Cross R., McKay S., McHughen A., Bonham-Smith P. Heat-stress effects on reproduction and seed set in *Linum usitatissimum* L. (flax) // Plant Cell and Environment. 2003. No. 26. P. 1013–1020. DOI: 10.1046/j.1365-3040.2003.01006.x.
15. Adugna W., Labuschagne M. Association of linseed characters and its variability in different environments // J. of Agr. Sci. 2003. No. 140. P. 285–296. DOI: 10.1017/S0021859603003125.
16. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) // Под ред. Н.К. Лемешева. Л.: ВИР, 1988. 29 с.
17. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов // Под ред. Гусакова В. Г., Привалова Ф. И. Минск: Беларус. навука, 2012. 469 с.
18. Агротематологический бюллетень // Под ред. Клинецвич О. М. Минск: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 2020. 6 с.
19. Агротематологический бюллетень // Под ред. Клинецвич О. М. Минск: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 2021. 6 с.
20. СТБ ИСО 15304-2007. Жиры и масла животных и растительные. Определение содержания трансизомеров жирных кислот в растительных жирах и маслах методом газовой хроматографии. Минск: Госстандарт. 2007. 24 с.
21. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2014. 351 с.

References

1. Drozd I. F. Influence of meteorological conditions in Precarpathian on morphological and parameters of oil flax // Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS. 2020. No. 29. P. 112–122. DOI: 10.36710/ioc-2020-29-11.
2. Shevchuk N. I. Productivity of oilseed flax varieties in the conditions of the Prisolair zone of the Altai territory // Materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference “Youth science – the development of the agroindustrial complex”. Part 1. Kursk: Kursk State Agricultural Academy. 2020. P. 311–316.
3. Rahimi M. M., Nourmohammadi G., Ayneband A., Afshar E., Moafpourian G. Study on planting date and nitrogen levels on yield, yield components and fatty acid of linseed (*Linum usitatissimum* L.) // World Appl. Sci. J. 2011. No. 12(1). P. 59–67.
4. Mustafa H., Hasan E., Hasan M., Sarwar S., Qayyum A., Mahmood T. Influence of climatic conditions on chemical configuration of seeds in safflower, soybean, linseed // Nature and Science. 2016. No. 14(9). P. 125–140.
5. Rubilar M., Gutiérrez C., Verdugo M., Shene C., Sineiro J. Flaxseed as a source of functional ingredients // J. Soil Sci. Pl. Nutr. 2010. No. 10 (3). P. 373–377. DOI: 10.4067/S0718-95162010000100010.
6. Comstock V. E. Early generation selection for high oil content and high oil quality in flax // Technical Bulletin 234. University of Minnesota, Agri. Experiment Station. 1960. 26 p.
7. Sklyarov S. V. The results of studying the trait collection of flax with the modified fatty acid composition of oil // Oil Crops. Scientific and technical bulletin of V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops. 2012. No. 2 (151–152). P. 68–74.
8. Bhattia I., Sukhija P. Changes in fatty acids of linseed oil (*Linum usitatissimum* L.) during ripening // Indian J. of Biochem. 1970. No. 7. P. 215–216.
9. Green A. Effect of temperature during seed maturation on oil composition of low-linolenic genotypes of flax // Crop Sci. 1986. No. 26. P. 961–965.
10. Kumar S., You F. M., Duguid S., Booker H., Rowland G., Cloutier S. QTL for fatty acid composition and yield in linseed (*Linum usitatissimum* L.) // Theoretical and applied genetics. 2015. No. 128(5). P. 965–984. DOI: 10.1007/s00122-015-2483-3.
11. Galitskiy D. N., Shamanin V.P. Influence of environment on accumulation of oil in flax seeds and its quality // Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2015. No. 2. P. 18–24.
12. Gordeyeva Y., Shestakova N. The influence of agroclimatic factors on the formation of oil content in flax seeds in the North of Kazakhstan // Journal of Ecological Engineering. 2018. No. 19. P. 102–105. DOI:10.12911/22998993/85740.
13. Casa R., Russell G., Lo-Cascio B., Rossini F. Environmental effects on linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield and growth of flax at different stand densities // European J. of Agron. 1999. No. 11. P. 267–278. DOI: 10.1016/S1161-0301(99)00037-4.
14. Cross R., McKay S., McHughen A., Bonham-Smith P. Heat-stress effects on reproduction and seed set in *Linum usitatissimum* L. (flax) // Plant Cell and Environment. 2003. No. 26. P. 1013–1020. DOI:10.1046/j.1365-3040.2003.01006.x.
15. Adugna W., Labuschagne M. Association of linseed characters and its variability in different environments // J. of Agr. Sci. 2003. No. 140. P. 285–296. DOI: 10.1017/S0021859603003125.

16. Guidelines for the study of the collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) // Ed. by Lemesheva N. K. Leningrad: VIR, 1988. 29 p.
17. Organizational and technological standards for the cultivation of fodder and industrial crops: collection of industry regulations // Ed. by Gusakova V. G., Privalova F. I. Minsk: Belarus. navuka, 2012. 469 p.
18. Agrometeorological bulletin // Ed. by Klintsevich O. M. Minsk: Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, 2020. 6 p.
19. Agrometeorological bulletin // Ed. by Klintsevich O. M. Minsk: Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, 2021. 6 p.
20. STB ISO 15304-2007. Animal and vegetable fats and oils. Determination of the content of trans-fatty acids in vegetable fats and oils by gas chromatography. Minsk: Gosstandart. 2007. 24 p.
21. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Alyans, 2014. 351p.

UDC 633.521:664.72

Maslinskaya M. E.

ACCUMULATION OF OIL IN LINSEEDS DEPENDING ON THE METEOROLOGICAL CONDITIONS OF THE YEAR

Summary. Climatic conditions during plant development have a significant impact on the yield of seeds and its components, the percentage of oil content and its composition. The purpose of the research was to study the accumulation of oil and changes in its fatty acid composition depending on the meteorological conditions of the year to identify genotypes with a consistently high level of these traits formation. Source material: varieties of linseed of the Belarusian selection 'Focus', 'Vizir', 'Alliance', 'Dar', 'Slavyanin', 'Bonus' and 'Salyut', which is the control when testing varieties in the State Inspectorate for Testing and Protection of Plant Varieties. Field experiments were laid in the selection crop rotation of the Oil Flax Breeding Laboratory of the RUE "Institute of Flax" in 2020–2021. Square of experimental plots is 1 m², in triple replication. All the studies were carried out according to the Guidelines for the study of the collection of flax (*Linum usitatissimum* L.). The soil of the experimental plots is sod-podzolic, medium loamy. Preceding crop – spring cereals. Agrochemical characteristics of soils: pH (KCl) – 5.0–5.5; mobile forms of phosphorus (P₂O₅) – 186–190 mg/kg of soil, potassium (K₂O) – 210 mg/kg of soil; the content of soil organic matter – 1.6 %. Weather conditions in 2020 were more favourable for the crop development and formation seeds with a higher oil content (29.2–44.8 %). A significant influence of the variety on the value of this indicator was noted (the share of the factor – 74.5 %). Out of the total number of the studied varieties, 'Salyut' and 'Focus' stood out. They clearly differentiated from the others by the higher oil content in both years of research (39.2 and 41.0 %, respectively). When analyzing changes in the fatty acid composition, the highest fluctuations were noted in the content of oleic, linoleic, and α -linolenic acids, both over the years of research and depending on the studied variety. As the most stable varieties, 'Salyut', 'Vizir' and 'Bonus' were selected.

Keywords: *Linum usitatissimum* L., oil content, fatty acid composition.

Маслинская Маргарита Евгеньевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь Республиканского научного дочернего унитарного предприятия «Институт льна»; 211003, Республика Беларусь, аг. Устье, ул. Центральная, 27; e-mail: mme-83@tut.by.

Maslinskaya Marharyta Evgenyevna, Cand. Sc. (Agr.), scientific secretary of the Republican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise "Institute of flax"; 27, Tsentralnaya Str., agronomy town Ustye, 211003, Republic of Belarus; e-mail: mme-83@tut.by.

Дата поступления в редакцию – 20.12.2022.
Дата принятия к печати – 30.01.2023.

УДК 579.64:631.533

DOI: 10.5281/zenodo.7898471

EDN DRAHTF

Могилевская И. В.

**ЭФФЕКТИВНЫЕ СТЕРИЛИЗУЮЩИЕ ПРЕПАРАТЫ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ
МИКРОБНОГО РОСТА НА ЭКСПЛАНТАХ *ROBINIA PSEUDOACACIA L.*
*IN VITRO***

ФГБУН «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Реферат. Наличие зараженности эксплантов после их стерилизации распространенными дезинфицирующими агентами – гипохлоритом натрия («Белизна»), раствором перекиси водорода (H_2O_2), нитратом серебра ($AgNO_3$) делает актуальным изучение возможности применения биоцидов широкого действия для подавления роста микроорганизмов. Лабораторными методами были выделены пять чистых штаммов с модельных объектов робинии псевдоакация (*Robinia pseudoacacia L.*). Цель исследований – определение эффективности биоцидов химического происхождения *in vitro* против некоторых видов микроорганизмов на *R. pseudoacacia*. Исследования выполнены в 2021–2022 гг. в лаборатории биотехнологий ФГБУН «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук». Объекты исследований: чистые штаммы культур, выделенные с зараженных эксплантов *R. pseudoacacia*. Изучено влияние препаратов на рост выделенных чистых штаммов, используемых в стандартных протоколах для стерилизации *R. pseudoacacia*, и впервые предложенных для подавления роста: «Дезовер», 5 %, «Proxel GXL», 2 % и 5 %, «Дезавид». Для всех используемых препаратов определена средняя зона задержки роста штаммов на пластинках питательного агара. Для проверки эффективности подавления микробного роста использовали метод диффузии из лунок в агар. Среди предложенных препаратов эффективно подавляли все выделенные микроорганизмы «Дезовер», 5 %, «Дезавид» (концентрация ПГМГ – 0,14 %) и «Proxel GXL». Наибольшую эффективность среди исследуемых препаратов показал «Proxel GXL» в концентрации 2 % и 5 %, превышая на 42 % и 90 % соответственно препарат «Лизоформин» (1 % и 5 %). Средние зоны задержки для данных препаратов составили более 25 мм, что подтверждает высокую чувствительность к ним выделенных в ходе исследования микроорганизмов. Штаммы оказались не чувствительны: на 100 % к 0,1 % $AgNO_3$, на 60 % к 10 % H_2O_2 и $NaOCl$ («Белизна»). Исследования являются основой для разработки протокола стерилизации эксплантов *R. pseudoacacia in vitro*.

Ключевые слова: робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia L.*), стерилизация, биоциды, микроорганизмы, *in vitro*.

Для цитирования: Могилевская И. В. Эффективные стерилизующие препараты для подавления микробного роста на эксплантах *Robinia pseudoacacia L. in vitro* // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 80–92. DOI: 10.5281/zenodo.7898471. EDN: DRAHTF.

For citation: Mogilevskaia I. V. Effective sterilizing preparations for suppressing microbial growth on *Robinia pseudoacacia L. explants in vitro* // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(33). P. 80–92. DOI: 10.5281/zenodo.7898471. EDN: DRAHTF.

Введение

Дезинфектанты – соединения, способные тормозить или полностью подавлять рост микробных клеток. В основном, после удаления этих веществ идет возобновление микробного роста. Сегодня производители предлагают широкий спектр стерилизующих агентов химического происхождения, которые возможно применять в разных областях народного хозяйства. Вместе с химическими препаратами, современные исследователи применяют стерилизующие агенты и антимикробные препараты биологической природы [1, 2].

Для достижения необходимого эффекта важно правильно определить концентрацию подавляющего микробный рост препарата. Время его воздействия зависит от природы, состава микробиоты обрабатываемого материала, температуры и концентрации раствора. При низких температурах для достижения нужного эффекта требуется больше времени. Уровень устойчивости микроорганизмов к используемым препаратам зависит от условий, в которых находятся микробные клетки. Под длительным воздействием определенного дезинфектанта микроорганизмы постепенно приобретают резистентность к нему [3]. Она может сохраняться или даже увеличиваться до тех пор, пока они будут находиться или соприкасаться с дезинфицирующей средой [4].

Многие авторы указывают на проблему контаминации при введении в культуру тканей различных видов растений и неэффективность стандартных протоколов стерилизации. Часто внутреннее заражение исходных эксплантов бывает намного сильнее, чем поверхностное. Особенно богаты внутренней инфекцией экспланты из тканей древесных растений, которые вследствие особенностей сосудистой системы склонны к накоплению внутренней инфекции. Производимые микроорганизмами фитотоксины замедляют и останавливают морфогенез эксплантов *in vitro* [5].

В последнее время эндофитные бактерии привлекают внимание исследователей благодаря их синергетическому воздействию на растения-хозяева, такого как стимулирование роста растений, производство метаболитов и адаптация растений к стрессовым средам [6]. Часто эндофитные бактерии являются и организмами-контаминантами. Наиболее часто встречающимися родами бактериальных эндофитов являются *Pantoea*, *Curtobacterium*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Mycobacterium*, *Rhodospseudomonas*, *Pseudomonas* и *Microbacterium* [7, 8].

В некоторых случаях заражение латентной бактериальной инфекцией визуально не влияет на рост растений *in vitro*, но при пассаже растения подвергаются стрессу, и в этом случае происходит усиление роста эндофитной культуры [9–11]. Увеличение числа микроорганизмов на кончиках побегов ставит под угрозу способность эксплантов к регенерации или даже приводит к гибели растения [12, 13]. Ранее для подавления или элиминации эндофитных возбудителей использовали антибиотики широкого спектра действия, например, ампициллин, гентамицин, амоксиклав и др. [14, 15]. Однако побочные эффекты фитотоксичности на рост эксплантов или отсутствие реакции генотипов на обработку, связанную с продолжением использования антибиотиков, могут привести к появлению резистентности [14]. Бактерии могут латентно присутствовать в растительной ткани, и загрязнение может вновь появиться через несколько месяцев после удаления действующих на микроорганизмы веществ [6].

Robinia pseudoacacia L. – быстрорастущий лесобразующий вид рода *Robinia*, семейства Fabaceae. Этот перспективный вид для аридных и урбанизированных территорий широко используется в лесозащитных насаждениях юга России [16–18].

Для стерилизации семян *R. pseudoacacia in vitro* [16] был использован раствор средства «Лизоформин 3000». Этот препарат по параметрам острой токсичности в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 при введении в желудок относится к 3 классу умеренно опасных веществ, при нанесении на кожу – к 4 классу малоопасных веществ, при введении в брюшную полость относится к 6 классу относительно безвредных веществ, при ингаляционном воздействии в виде паров – к 4 классу малоопасных веществ; оказывает слабое местно-раздражающее действие на кожу и слизистые оболочки глаз, не обладает сенсibiliзирующим действием [19]. Используется также для стерилизации оборудования, поверхностей.

Среди антисептических средств широкого действия распространены препараты, где в качестве действующего вещества (ДВ) используется полигексаметиленгуанидин гидрохлорида (далее ПГМГ), например, «Дезовер» и «Дезавид». Они обладают широким спектром действия, есть сведения о применении «Дезавида» для стерилизации эксплантов древесных растений [20]. В состав средств для дезинфекции «Дезовер» и «Дезавид» входит ПГМГ в концентрациях 20 % и 0,14 % соответственно. ПГМГ относится к биоцидам широкого спектра антимикробной активности в отношении грамотрицательных и грамположительных бактерий, вирусов, грибов, в том числе плесневых, дрожжевых и дрожжеподобных, грибов рода *Candida*. Это эффективный фунгицид и антисептик [21]. ПГМГ относится к 3 классу умеренно опасных веществ при введении в желудок, к 4 классу малоопасных веществ при нанесении на кожу по ГОСТ 12.1.007-76.

Примером препарата широкого действия также можно назвать «Proxel GXL», который представляет собой раствор бензизотиазолинона (ДВ) в этиленгликоле. Степень опасности химической продукции в целом (сведения о классификации опасности в соответствии с законодательством РФ (ГОСТ 12.1.007-76)) отсутствует. Обладает антимикробным и фунгицидным, а также противогрибковым и биостатическим действием. Имеет неспецифическое действие по отношению к микроорганизмам, так как не накапливается резистентность у бактерий [22].

Цель исследований – определить действие биоцидов на микрофлору, выделенную из образцов *Robinia pseudoacacia* лаборатории ФНЦ агроэкологии РАН и подобрать оптимальный препарат для использования его на этапе стерилизации.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2021–2022 гг. в лаборатории биотехнологий ФГБУН «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук». Модельными объектами являлись визуально контаминированные образцы эксплантов *R. pseudoacacia*. На этапе предварительной стерилизации до введения в культуру *in vitro* в качестве основных агентов использовали распространенные для этих целей вещества: 10 % раствор «Белизны» (ООО ПК «Русбытхим», Россия; действующее вещество: гипохлорит натрия – NaOCl; здесь и далее % об.), 1 % и 5 % раствор «Лизоформин-3000» (ООО «Гигиена Плюс», Россия; действующие вещества: глиоксаль, 7,5 %, глутаровый альдегид, 9,5 %, дидецилдиметиламмоний хлорид, 9,6 %), 10 % раствор перекиси водорода – H₂O₂, 0,1 % раствор нитрата серебра (I) – AgNO₃ [5, 23]. В ходе первого этапа в лаборатории биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН были исследованы режимы стерилизации семян *R. pseudoacacia* перечисленными препаратами [16]. На следующем этапе «Лизоформин 3000», «Белизну», 10 % раствор перекиси водорода использовали для проверки их действия на пяти чистых штаммах микроорганизмов: 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.7, выделенных с эксплантов *R. pseudoacacia*.

Для достижения поставленной в исследовании цели, кроме используемых ранее, были предложены такие препараты как «Дезовер» (ООО «Компания Вереск»), «Дезавид» (ООО «Адекватные технологии», Россия), «Proxel GXL» (Ataman Chemicals, Турция).

Для приготовления бактериальных взвесей исследуемых штаммов использовали стерильный физиологический раствор (0,89 % NaCl). Для контроля стерильности обработанных биоцидами проб производили их высев на пластинки питательного агара (среда для определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), производство ВНИИМС, г. Углич) в чашках Петри. Все питательные среды и физиологический раствор, дистиллированную воду для приготовления растворов антисептиков предварительно стерилизовали автоклавированием при 121 °С в паровом стерилизаторе ГКа-25 ПЗ (-05); посуду – в сухожаровом шкафу Витязь ГП-40-3 при температуре 160 °С в течение 2 ч. Культивирование осуществляли в суховоздушном термостате ТС-1/80 СПУ при температуре 28–30 °С. Растворы антисептиков необходимых концентраций готовили в асептических условиях в ламинарном боксе на стерильной дистиллированной воде. Для выделения культур микроорганизмов использовали жидкую и плотную картофельно-сахарозную среду (КСА) и жидкую среду Чапека (производство HiMedia Laboratories Pvt Ltd, India).

Каждый из образцов помещали в стерильную пробирку, добавляли по 10 мл стерильного физиологического раствора, встряхивали периодически в течение 10–15 мин. После этого отбирали из пробирок образовавшиеся суспензии стерильной пипеткой по 1,0 мл, добавляли в пробирки с жидкой картофельно-сахарозной средой (КСА) или бульоном Чапека (9,0 мл) в трех повторностях и оставляли в термостате при температуре 28–30 °С до семи суток для накопления культур микроорганизмов.

Для выделения чистых культур делали высев на чашки Петри со средой КМАФАнМ. Для этого каплю микробной суспензии из пробирки с накопительной культурой размазывали аккуратно по поверхности плотной среды штрихами с помощью бактериологической петли по всей поверхности чашки. Далее чашки с посевами выдерживали в термостате до семи суток, так как скорость роста различных микроорганизмов неодинакова. Выросшие изолированные колонии на плотном питательном агаре были отсеяны с помощью бактериологической петли в асептических условиях в пробирки на поверхность скошенного агара [24].

Для определения зон задержки подготовленные стерильные чашки Петри со средой КМАФАнМ заражали выделенными чистыми культурами микроорганизмов. Для этого использовали пробирки с одно- или двухсуточными культурами микроорганизмов (в зависимости от их индивидуальной скорости роста на плотной среде) с концентрацией 5×10^8 мк/мл. Подготовленные бактериальные взвеси разных штаммов микроорганизмов вносили в количестве 1 мл на чашки Петри со средой КМАФАнМ для получения после «газона» микробной культуры, после равномерного распределения лишнюю взвесь удаляли дозатором. Далее в чашке Петри проделывали четыре лунки размером 5 мм металлическим пробойником с диаметром 6 мм, куда помещали одинаковое количество исследуемого биоцида (по три капли соответствующей концентрации) или по одной лунке в случае обнаружения большой зоны задержки роста в двух–трехкратной повторности. Результат фиксировали через 24–48 часов в зависимости от скорости роста микроорганизмов [25].

Учет результатов производили по величине зоны задержки роста микробов вокруг лунки по аналогии с действием бумажных дисков, включая их диаметр. Если зона задержки роста составляет 15–25 мм, то микробы чувствительны к веществу,

до 15 мм – малочувствительны; отсутствие такой зоны указывает на устойчивость бактериальной культуры к данному веществу (чувствительность отсутствует) [24].

Все результаты статистически обработаны при помощи пакета программы Microsoft Excel и представлены в виде средней арифметической с учетом ошибки среднего. Размер зон задержки роста определяли с помощью программы ImageJ (США), различия достоверны при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Проведены визуальная оценка зараженных образцов и смывы с них в жидкие среды на картофельно-сахарозную среду и в бульон Чапека. На рисунке 1 представлены образцы эксплантов и среды с ростом микроорганизмов через семь суток.

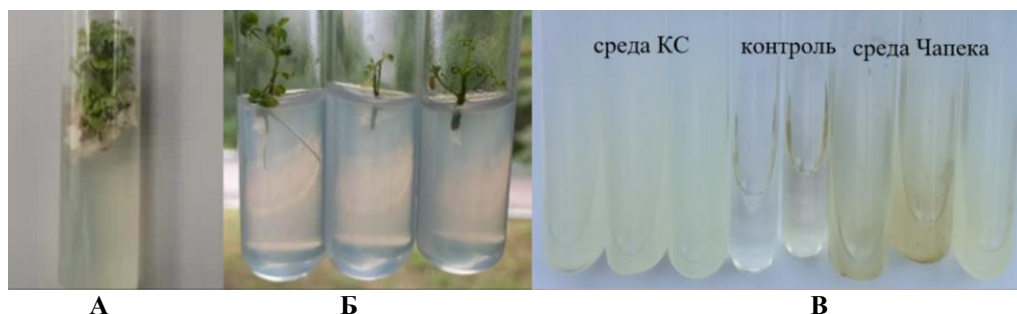


Рисунок 1 – Исходные образцы эксплантов *in vitro* через 48 суток (А) и 14 суток (Б) и рост микроорганизмов на питательных средах КС и Чапека через семь суток (В)

Зараженные суспензии с микробным ростом были посеяны на плотные питательные среды, с которых далее выделены чистые культуры микроорганизмов. В ходе серии экспериментов определены средние зоны задержки роста для штаммов, выделенных с эксплантов. С учетом этого показателя подобраны эффективные препараты, подавляющие рост исследуемых микроорганизмов. Зависимости действия исследуемых препаратов на выделенные штаммы от концентрации представлены на рисунке 2.

Анализ данных показал, что препараты «Лизоформин 3000» (1 % и 5 %), «Proxel GXL» (2 % и 5 %), «Дезовер», 5 %, «Дезавид» (в неразведенном виде) оказывали отрицательное действие на рост всех выделенных с эксплантов *R. pseudoacacia* штаммов микроорганизмов. При использовании препарата «Лизоформин 3000» в концентрации 1 % и 5 % (рисунок 2, А) наблюдали зоны задержки 19,6–38,0 мм, в концентрации 5 % размер зон для них составил 25,5–30,87 мм. Препарат в концентрации 1 % наиболее эффективен для штамма 1.1 (зона задержки роста 38,0 мм), а в концентрации 5 % – для штамма 1.5 (зона задержки роста 32,5 мм) (рисунок 3).

Препарат «Proxel GXL» (5 %) оказался эффективным для всех выделенных микроорганизмов, средняя зона задержки роста (42,03 мм) у данного препарата выше на 42% по сравнению с препаратом «Лизоформин 3000» (5%) (29,56 мм) (рисунок 4)

Наименьшее действие препарата в концентрации 2 % наблюдали для штамма 1.2 (28,14 мм), в концентрации 5 % – для штамма 1.1 (33,37 мм). Максимум действия отмечен для штамма 1.5 (в концентрации 2 %) и 1.7 (в концентрации 5 %), зоны задержки роста 40,85 мм и 50,99 мм соответственно (рисунок 2, Б). По величине средней зоны задержки все штаммы оказались высоко чувствительны к препарату «Proxel GXL» (концентрация 5 %).

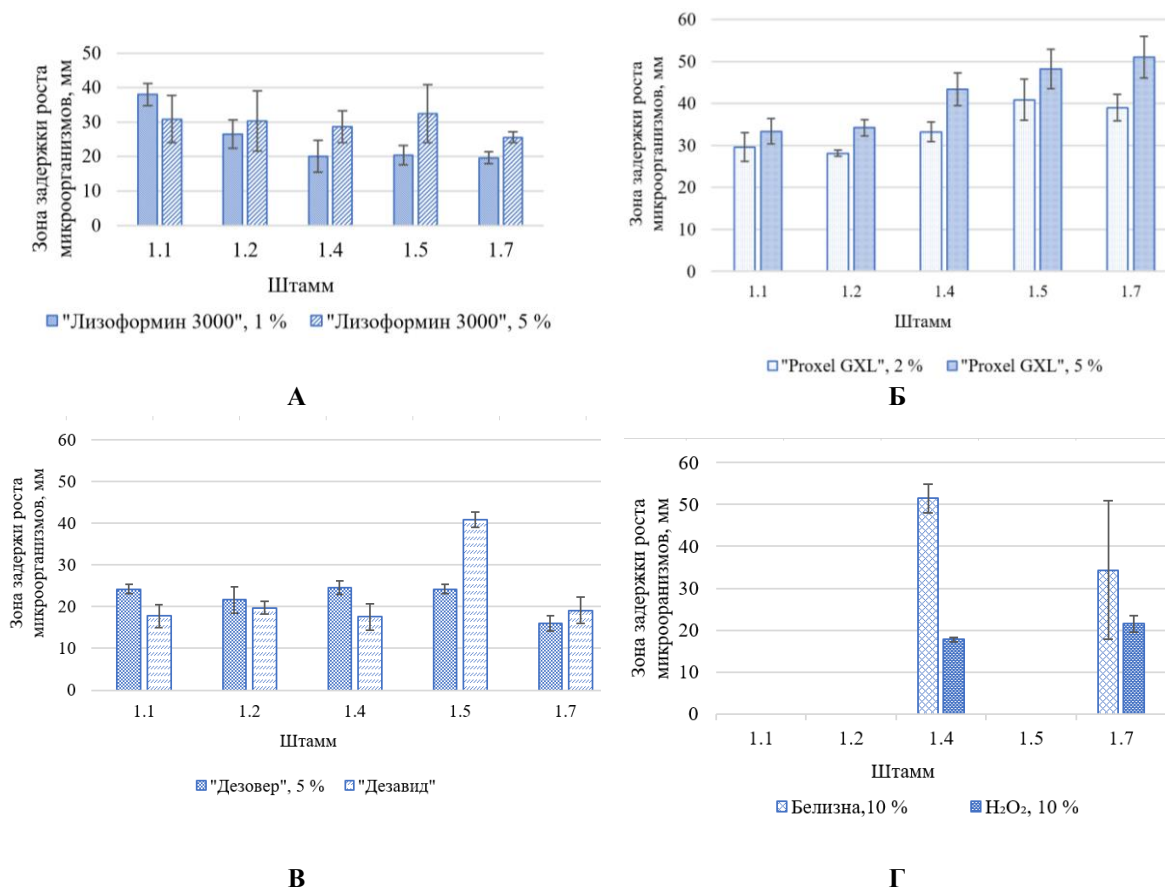


Рисунок 2 – Действие препаратов «Лизоформин 3000» (А), «Proxel GXL» (Б), «Дезовер» и «Дезавид» (В), «Белизна» и перекись водорода (Г) на выделенные с эксплантов *R. pseudoacacia* штаммы микроорганизмов

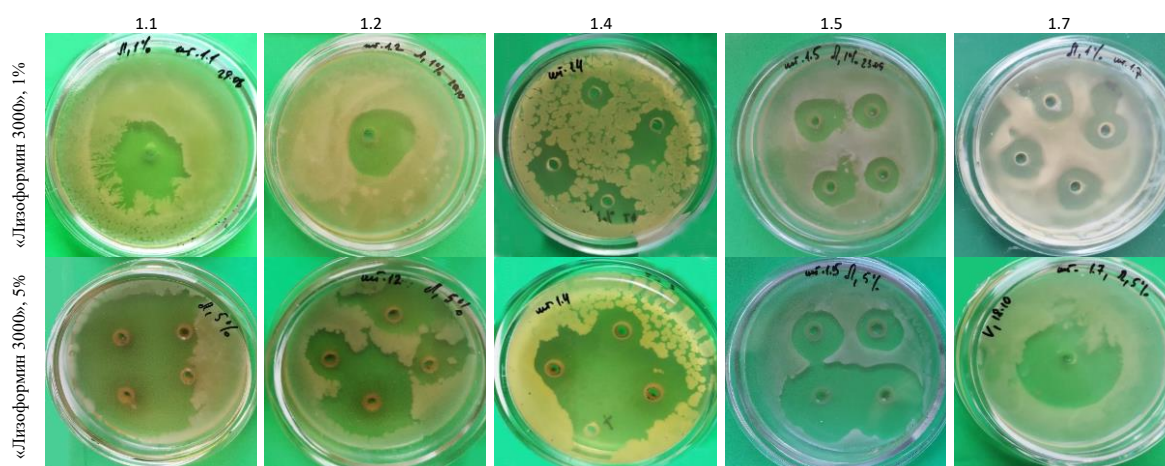


Рисунок 3 – Действие препарата «Лизоформин 3000» на выделенные штаммы в концентрации 1 % (вверху) и 5 % (внизу)

Препараты «Дезовер», 5% и «Дезавид» со сниженной почти в семь раз (0,14 %) концентрацией ПГМГ оказывали меньший эффект (в два раза) по сравнению с препаратом «Proxel GXL». Наибольшую чувствительность к действию препарата «Дезовер», 5 % наблюдали у штамма 1.1 (зона задержки роста 24,35 мм),

а к препарату «Дезавид» – у штамма 1.5, для которого его можно назвать максимально эффективным (зона задержки роста 40,86 мм) (рисунок 5).

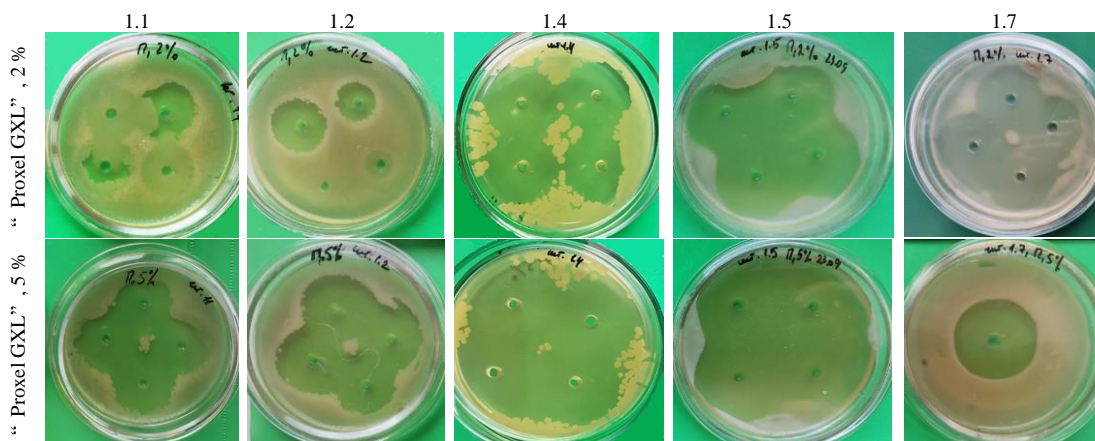


Рисунок 4 – Действие препарата «Proxel GXL» на выделенные штаммы в концентрации 1 % (вверху) и 5 % (внизу)

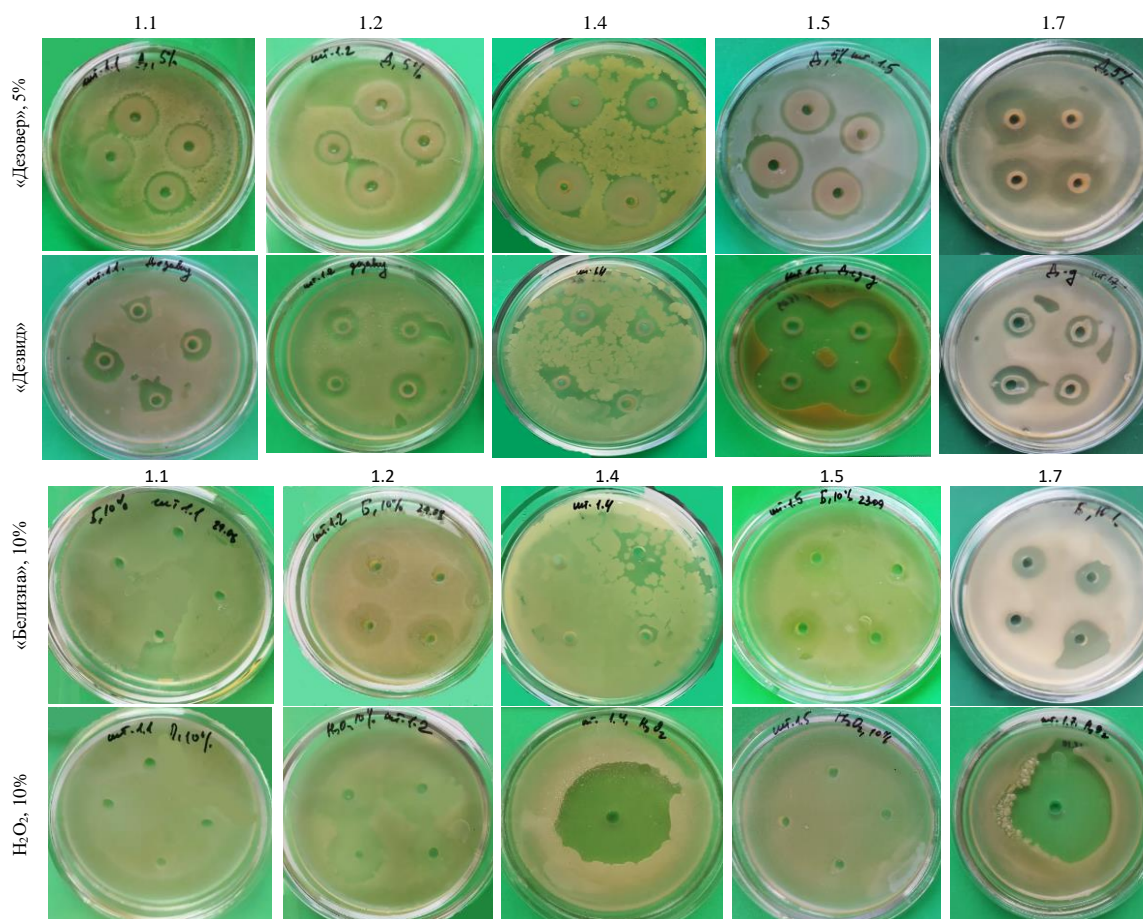


Рисунок 5 – Действие препаратов «Белизна» (10 %), раствора перекиси водорода (10 %), «Дезовер» (5 %) и «Дезавид» на выделенные штаммы

Для штаммов 1.1, 1.2, 1.4, выделенных с эксплантов *R. pseudoacacia*, препарат «Дезовер», 5% оказался более эффективен, чем препарат «Дезавид» по средней зоне задержки роста. На штаммы 1.5 и 1.7 «Дезавид» действует лучше, чем «Дезовер», что можно объяснить индивидуальной чувствительностью штаммов 1.5

и 1.7 к действию второго компонента препарата «Дезавид» (0,02 % алкилбензиламмоний хлорид).

Препараты «Белизна» и раствор H_2O_2 в концентрации 10 % при использовании метода диффузии лунок в агар не оказали действия на три (60 %) штамма из пяти (рисунок 2, Г). Чувствительность к данным препаратам проявили штаммы 1.4 и 1.7. По результатам исследований перекись водорода (10 %) является оптимальным стерилизующим агентом только для штамма 1.4 (зона задержки 51,46 мм). Стерилизующий агент «Белизна» на 118 % менее эффективен, чем перекись водорода (рисунок 5). При применении данных препаратов 60 % штаммов оказались не восприимчивы к 10 % раствору H_2O_2 и NaOCl («Белизна»).

При обработке раствором $AgNO_3$ (0,1 %) штаммов микроорганизмов методом диффузии из лунок в агар все культуры (100 %) оказались не чувствительны к примененному препарату, хотя об эффективном его использовании упоминают российские и зарубежные исследователи [26, 19]. Это может быть обусловлено недостаточной концентрацией препарата или устойчивостью к нему микроорганизмов.

Анализируя данные серии экспериментов по средним зонам задержки исследуемых препаратов (рисунок 6), можно констатировать, что все штаммы более чувствительны к препарату «Proxel GXL» в концентрации 2 % и 5 % и «Лизоформин 3000» в концентрации 1 % и 5 %. Меньшую чувствительность наблюдали к действию препарата «Белизна» (действующее вещество NaOCl) при его широком использовании для стерилизации эксплантов [16, 19, 27, 28].

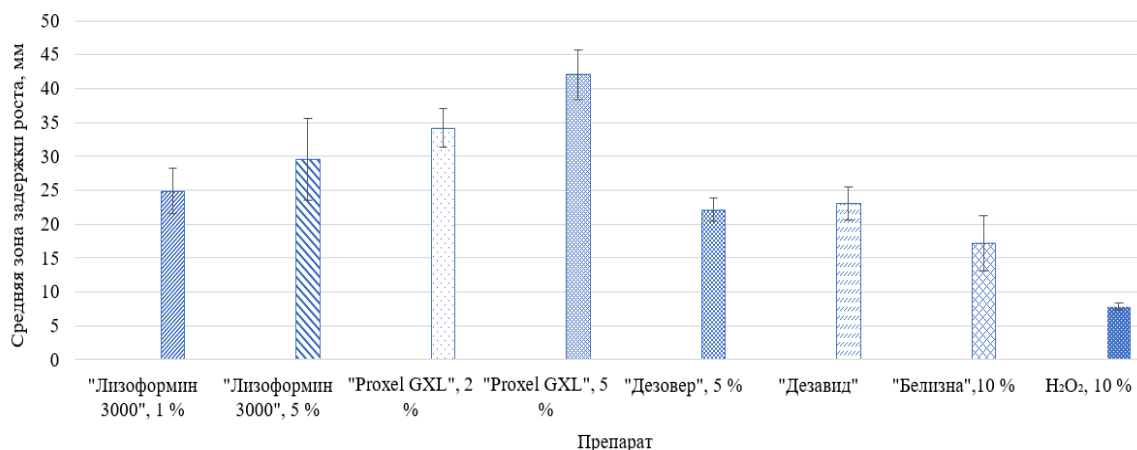


Рисунок 6 – Сводный график действия исследуемых препаратов на выделенные штаммы с эксплантов *R. pseudoacacia*

Сравнение средних зон задержки показало, что повышение концентрации «Лизоформин 3000» в 5 раз с 1 % до 5 % увеличило зоны задержки на 18,7 %. При применении препарата «Proxel GXL» повышение концентрации в 2,5 раза с 2 % до 5 % дало увеличение зон задержки роста на 23 %, что говорит о большей чувствительности к нему выделенных штаммов. Препарат «Proxel GXL» в концентрации 5 % эффективнее препаратов «Лизоформин 3000», 5 % и «Дезовер», 5 % на 42 % (12,47 мм) и 90 % (19,9 мм) соответственно.

Результаты определения эффективности препаратов по отношению к штаммам представлены в таблице.

Таблица – Чувствительность штаммов микроорганизмов с *R. pseudoacacia* к исследуемым препаратам

Штамм	Наиболее эффективный препарат	Препарат с зоной задержки >25 мм (высокая чувствительность штаммов)	Препараты с зоной задержки 15–25 мм (средняя чувствительность штаммов)	Препараты, провоцирующие резистентность штаммов (зона задержки отсутствует)
1.1	Л1	Л1, Л5, Р2, Р5	Д5, Дд	Б10, H ₂ O ₂ , (10 %), AgNO ₃ (0,1 %)
1.2	Р5	Р5 Л1, Л5, Р2,	Д5, Дд	Б10, H ₂ O ₂ , (10 %), AgNO ₃ (0,1 %)
1.4	H ₂ O ₂ , (10 %)	H ₂ O ₂ , (10 %) Л5, Р2, Р5, Б10, Дд	Л1, Д5,	AgNO ₃ (0,1 %)
1.5	Р5	Л1, Л5, Р5, Р2	Д5, Дд	Б10, H ₂ O ₂ , (10 %), AgNO ₃ (0,1 %)
1.7	Р5	Р5, Б10, Р2, Л5	Л1, H ₂ O ₂ (10 %), Д5, Дд	AgNO ₃ (0,1 %)

Примечание. Л1 – «Лизоформин 3000», 1 %; Л5 – «Лизоформин 3000», 5 %; Б10 – «Белизна-эконом», 10 %; Н10 – раствор H₂O₂, 10 %; Р2 – «Proxel GXL», 2 %; Р5 – «Proxel GXL», 5 %; Д5 – «Дезовер», 5 %; Дд – «Дезавид».

Анализ данных показал, что препараты «Proxel GXL», «Лизоформин», «Дезовер» и «Дезавид» эффективны в отношении всех исследуемых микроорганизмов. К другим препаратам, используемым в исследовании, микроорганизмы оказались не чувствительны («Белизна», растворы H₂O₂ и AgNO₃). Таким образом, высокая эффективность действующего вещества бензизотиазолинона в препарате «Proxel GXL» в отношении различных видов микроорганизмов *in vitro* подтверждается в работах исследователей [6, 9].

Выводы

Впервые проведено лабораторное исследование чувствительности микроорганизмов, выделенных с зараженных эксплантов *R. pseudoacacia*, по отношению к препаратам «Дезовер», «Дезавид» и «Proxel GXL».

Определены зоны задержки микробного роста для них и используемых ранее в лаборатории биотехнологии стерилизующих агентов «Белизна» 10 %, растворов H₂O₂ 10 % и AgNO₃ (0,1 %). Исследования показали, что все культуры микроорганизмов очень чувствительны к препаратам «Лизоформин» (концентрации 1 % и 5 %), «Дезовер», 5 %, «Дезавид», «Proxel GXL» (концентрации 2 % и 5 %). Наибольшую чувствительность (максимальные зоны задержки – более 25 мм) к препарату «Proxel GXL», 5 % проявили 100 % исследуемых микроорганизмов. При этом эффективное действие на все штаммы микроорганизмов оказывали «Лизоформин 3000», «Дезовер» и «Дезавид» (зоны задержки роста более 15 мм). К растворам перекиси водорода и гипохлорита натрия («Белизна») в 10 % концентрации чувствительность была определена только у двух штаммов – 1.5 и 1.7 (40 %). К раствору AgNO₃ (0,1 %) остались устойчивы все штаммы.

Таким образом, для 100 % подавления роста микроорганизмов, выделенных с эксплантов *R. pseudoacacia*, можно рекомендовать препараты «Лизоформин 3000» в концентрации 1 % и 5 %, «Proxel GXL» (2 % и 5 %), «Дезовер», 5 % и «Дезавид» (концентрация ПГМГ 0,14 %).

Работа выполнена в рамках государственного задания НИР ФНЦ агроэкологии РАН № 122020100427-1 «Разработать научные основы сохранения и воспроизводства ценных генотипов древесных и кустарниковых растений в культуре in vitro».

Литература

1. Ahmed N., Mohamed H. F., Xu C., Lin X., Huang L. A novel surface sterilization method using *Artemisia dracuncululus* extract for tissue culturing of endangered species *Sargassum fusiforme* // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2022. Vol. 149. No. 1. P. 135–145. DOI: 10.1007/s11240-022-02239-y.

2. Пась А. Н. Эффективность микробных препаратов при интродукции *Tulipa × hybrida hort* в условиях предгорного Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 1(21). С. 56–63. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-56-63. EDN: GYOFPR.
3. Якуба Г. В., Астапчук И. Л., Насонов А. И. Действие фунгицидов *in vitro* на грибы рода *Fusarium* Link, вызывающие гниль сердцевины плодов яблони // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 2(22). С. 188–197. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-188-197. EDN: EUVWZA.
4. Кобзев Е. Н., Чугунов В. А., Родин В. Б., Дегушева Е. В., Слукин П. В., Фёдорова Л. С., Акимкин В. Г. Формирование устойчивости микроорганизмов к дезинфицирующим средствам и пути решения проблемы // Эпидемиология и инфекционные болезни. 2014. № 6. С. 48–54. EDN: TENSMD.
5. Аникина И. Н. Адамжанова Ж. А., Комарова А. Н., Кусаинов А. А. Преодоление микроорганизмов-контаминантов в культуре растительных тканей *in vitro* // Биологические науки Казахстана. 2020. № 4. С. 9–20.
6. Romadanova N. V., Tolegen A. B., Kushnarenko S. V., Zoldybayeva E. V., Bettoni J. C. Effect of plant preservative mixture TM on endophytic bacteria eradication from *in vitro*-grown apple shoots // Plants. 2022. Vol. 11. No. 19. Art. No. 2624. DOI: 10.3390/plants11192624.
7. Quambusch M., Brummer J., Haller K., Winkelmann T., Bartsch M. Dynamics of endophytic bacteria in plant *in vitro* culture: quantification of three bacterial strains in *Prunus avium* in different plant organs and *in vitro* culture phases // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2016. Vol. 126. No. 2. P. 305–317. DOI 10.1007/s11240-016-0999-0.
8. Kaluzna M., Mikicinski A., Sobiczewski, P., Zawadzka M., Zenkleter E., Orlikowska T. Detection, isolation, and preliminary characterization of bacteria contaminating plant tissue cultures // Acta Agrobotanica. 2013. Vol. 66. No. 4. P. 81–92. DOI: 10.5586/aa.2013.054.
9. Kushnarenko S., Aralbayeva M., Rymkhanova N., Reed B.M. Initiation pretreatment with Plant Preservative Mixture™ increases the percentage of aseptic walnut shoots // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2022. Vol. 58. P. 964–971. DOI: 10.1007/s11627-022-10279-4.
10. Köpnick C., Grube M., Stock J., Senula A., Mock H.P., Nagel H. Changes of soluble sugars and ATP content during DMSO droplet freezing and PVS3 droplet vitrification of potato shoot tips // *Cryobiology*. 2018. Vol. 85. P. 79–86. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2018.09.005.
11. Bajerski F., Nagel M., Overmann J. Microbial occurrence in liquid nitrogen storage tanks: a challenge for cryobanking? // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2021. Vol. 105. No. 20. P. 7635–7650. DOI: 10.1007/s00253-021-11531-4.
12. Volk G. M., Bonnart R., de Oliveira A. C. A., Henk A. D. Minimizing the deleterious effects of endophytes in plant shoot tip cryopreservation // *Applications in Plant Sciences*. 2022. Vol. 10. No. 5. Art. No. e11489 DOI: 10.1002/aps3.11489.
13. Senula A., Keller E. R. J. Cryopreservation of mint – routine application in a genebank, experience and problems // *ISHS Acta Horticulturae 908: I International Symposium on Cryopreservation in Horticultural Species*. No. 908. 2009. P. 467–475. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.908.60.
14. Leone G. F., Andrade P. A. M., de Almeida Carolina V., de Almeida Cristina V., Andreote F. D., de Almeida M. Use of antibiotics to control endophytic bacterial growth migration onto culture medium in *Eucalyptus cloeziana* F. Muell.: a micropropagation approach // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2019. Vol. 55. No. 4. P. 421–432. DOI: 10.1007/s11627-019-09986-2.
15. Liang C., Rendun W., Han Y., Wan T., Cai Y. Optimizing suitable antibiotics for bacterium control in micropropagation of cherry rootstock using a modified leaf disk diffusion method and E test // *Plants*. 2019. Vol. 8. No. 3. P. 66. DOI: 10.3390/plants8030066.
16. Терещенко Т. В., Жолобова О. О. Эффективные способы стерилизации семян *Robinia pseudoacacia* L. для введения в культуру *in vitro* // *Научно-агрономический журнал*. 2022. № 2(117). С. 62–67. DOI: 10.34736/FNC.2022.117.2.008.62-67. EDN: DEUPZP.
17. Калмыкова Е. В., Кузьмин П. А., Мельник К. А., Сапронова Д. В. Комплексная оценка сеянцев *Robinia pseudoacacia* L. в орошаемом питомнике для использования в лесоразведении и озеленении на территории Нижнего Поволжья // *Аграрный научный журнал*. 2022. No 11. С. 38–42. DOI: 10.28983/asj.y2022i11. С. 38–42.
18. Власов А. И., Бебия С. М., Кружилин С. Н., Прикня Д. О. О масштабной интродукции полиплоидных форм *Robinia pseudoacacia* L. в степной зоне как перспективном направлении научных исследований // *Экономика и экология территориальных образований*. 2022. Т. 6. № 2. С. 57–64. DOI: 10.23947/2413-1474-2022-6-2-57-64. EDN: UHDMBA.
19. Афиногенова А. Г., Афиногенов Г. Е., Богданова Т. Я. Инструкция № 06/07 по применению средства «Лизоформин 3000» для целей дезинфекции, очистки и стерилизации производства фирмы «Лизоформ Др. Ханс Роземанн ГмбХ» (Германия), расфасованного на ООО «Гигиена плюс», Россия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dezshare.ru/documents/223/Lisoformin_3000_06-07_2007.pdf (дата обращения 5.12.2022).

20. Патент РФ № 2720916 С1 «Способ стерилизации зеленых растительных эксплантов перед вводом в культуру *in vitro*» // Авторы: Ребров А. Н., Трофимова М. С. Патентообладатель: ФГБНУ «Федеральный ростовский аграрный научный центр». 14.05.2020. Бюлл. № 14. 6 с.
21. Патент РФ № 2542528 С2 «Фунгицидный состав» // Авторы: Земченкова Г. К., Давлетов Р. Д., Колбин А. М. Патентообладатель: ГБУ Республики Башкортостан «Научно-исследовательский технологический институт гербицидов и регуляторов роста растений с опытно-экспериментальным производством Академии наук Республики Башкортостан» 20.02.2015. Бюлл. № 5. 14 с.
22. Паспорт безопасности химической продукции K6F99AA. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://h20195.www2.hp.com/v2/GetDocument.aspx?docname=c07399053> (дата обращения: 1.11.2022).
23. Ugur R. Development of *in vitro* sterilization protocol for DO-1 (*Prunus domestica*) rootstock // Applied Ecology and Environmental Research. 2020. Vol. 18. No. 2. P. 2339–2349. DOI: 10.15666/aer/1802_23392349.
24. Практикум по ветеринарной микробиологии и иммунологии // Под ред. Кисленко Н. Н. М.: КолосС, 2005. 232 с.
25. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Государственная фармакопея РФ. Т. XIII. М.: ФЭМБ, 2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pharmacopoeia.ru/gosudarstvennaya-farmakopeya-xiii-online-gf-13-online/> (дата обращения: 1.11.2022).
26. Чудецкий А. И., Родин С. А., Зарубина Л. В., Кузнецова И. Б., Тяк Г. В. Микрклональное размножение и особенности адаптации к условиям *ex vitro* лесных ягодных растений рода *Vaccinium* // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 3. С. 570–581. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-3-2386. EDN: UANYXI.
27. Шахов В. В., Ташматова Л. В., Мацнева О. В., Хромова Т. М. Эффективность стерилизующих агентов при введении сортов вишни в культуру *in vitro* // Современное садоводство. 2018. №. 4 (28). С. 32–37. DOI: 10.24411/2312-6701-2018-10405 EDN: YRPFGR.
28. Stanislavljević A., Bošnjak D., Štolfa I., Vuković R., Kujundžić T., Drenjančević M. Sterilization of different explant types in micropropagation of CAB-6P and Gisela 6 cherry rootstock // Poljoprivreda. 2017. Vol. 23. No. 2. P. 31–37. DOI: 10.18047/poljo.23.2.5.

References

1. Ahmed N., Mohamed H. F., Xu C., Lin X., Huang L. A novel surface sterilization method using *Artemisia dracuncululus* extract for tissue culturing of endangered species *Sargassum fusiforme* // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2022. Vol. 149. No. 1. P. 135–145. DOI: 10.1007/s11240-022-02239-y.
2. Pas' A. N. Effectiveness of microbial preparations in introduction *Tulipa × hybrida* Hort. in the foothill zone of the Crimea // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 1(21). P. 56–63. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-56-63. EDN GYOFPR.
3. Yakuba G. V., Astapchuk I. L., Nasonov A. I. *In vitro* action of fungicides on fungi of the genus *Fusarium* Link, causing core rot apple-fruit // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 2(22). P. 188–197. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-188-197. EDN: EUVWZA.
4. Kobzev E. N., Chugunov V. A., Rodin V.B., Detusheva E. V., Slukin P. V., Fedorova L. S., Akimkin V. G. Formation of microbial resistance to disinfectants and ways of solving of the problem// Epidemiology and infectious diseases. 2014. No. 6. P. 48–54. EDN: TENSMD.
5. Anikina I. N. Adamzhanova J. A., Komarova A. N., Kusainov A. A. Overcoming of microorganisms-contaminants in the culture of plant tissues *in vitro* // Biological Sciences of Kazakhstan. 2020. No. 4. P. 9–20.
6. Romadanova N. V., Tolegen A. B., Kushnarenko S. V., Zoldybayeva E. V., Bettoni J. C. Effect of plant preservative mixture TM on endophytic bacteria eradication from *in vitro*-grown apple shoots // Plants. 2022. Vol. 11. No. 19. Art. No. 2624. DOI: 10.3390/plants11192624.
7. Quambusch M., Brummer J., Haller K., Winkelmann T., Bartsch M. Dynamics of endophytic bacteria in plant *in vitro* culture: quantification of three bacterial strains in *Prunus avium* in different plant organs and *in vitro* culture phases // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2016. Vol. 126. No. 2. P. 305–317. DOI 10.1007/s11240-016-0999-0.
8. Kaluzna M., Mikicinski A., Sobiczewski, P., Zawadzka M., Zenkleter E., Orlikowska T. Detection, isolation, and preliminary characterization of bacteria contaminating plant tissue cultures // Acta Agrobotanica. 2013. Vol. 66. No. 4. P. 81–92. DOI: 10.5586/aa.2013.054.
9. Kushnarenko S., Aralbayeva M., Rymkhanova N., Reed B.M. Initiation pretreatment with Plant Preservative Mixture™ increases the percentage of aseptic walnut shoots // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2022. Vol. 58. P. 964–971. DOI: 10.1007/s11627-022-10279-4.
10. Köpnick C., Grube M., Stock J., Senula A., Mock H.P., Nagel H. Changes of soluble sugars and ATP content during DMSO droplet freezing and PVS3 droplet vitrification of potato shoot tips //

Cryobiology. 2018. Vol. 85. P. 79–86. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2018.09.005.

11. Bajerski F., Nagel M., Overmann J. Microbial occurrence in liquid nitrogen storage tanks: a challenge for cryobanking? // Applied Microbiology and Biotechnology. 2021. Vol. 105. No. 20. P. 7635–7650. DOI: 10.1007/s00253-021-11531-4.

12. Volk G. M., Bonnart R., de Oliveira A. C. A., Henk A. D. Minimizing the deleterious effects of endophytes in plant shoot tip cryopreservation // Applications in Plant Sciences. 2022. Vol. 10. No. 5. Art. No. e11489 DOI: 10.1002/aps3.11489.

13. Senula A., Keller E. R. J. Cryopreservation of mint – routine application in a genebank, experience and problems // ISHS Acta Horticulturae 908: I International Symposium on Cryopreservation in Horticultural Species. 2009. P. 467–475. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.908.60.

14. Leone G. F., Andrade P. A. M., de Almeida Carolina V., de Almeida Cristina V., Andreote F. D., de Almeida M. Use of antibiotics to control endophytic bacterial growth migration onto culture medium in *Eucalyptus cloeziana* F. Muell.: a micropropagation approach // In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant. 2019. Vol. 55. No. 4. P. 421–432. DOI: 10.1007/s11627-019-09986-2.

15. Liang C., Rendun W., Han Y., Wan T., Cai Y. Optimizing suitable antibiotics for bacterium control in micropropagation of cherry rootstock using a modified leaf disk diffusion method and E test // Plants. 2019. Vol. 8. No. 3. P. 66. DOI: 10.3390/plants8030066.

16. Tereshchenko T. V., Zholobova O. O. Effective methods of sterilization of *Robinia pseudoacacia* L. seeds for introduction into cultivation *in vitro* // Scientific Agronomy Journal. 2022. No. 2(117). P. 62–67. DOI: 10.34736/FNC.2022.117.2.008.62-67. EDN: DEUPZP.

17. Kalmykova E. V., Kuzmin P. A., Melnik K. A., Saponova D. V. Comprehensive evaluation of *Robinia pseudoacacia* L. seedlings in an irrigated nursery for use in forestry and gardening in the lower Volga region // The Agrarian Scientific Journal. 2022. No. 11. P. 38–42 DOI: 10.28983/asj.y2022i11pp38-42.

18. Vlasov A. I., Bebia S. M., Kruzhilin S. N., Priknya D. O. On the large-scale introduction of polyploid forms of *Robinia pseudoacacia* L. in the steppe zone as a promising area of scientific research // Economy and ecology of territorial formations. 2022. Vol. 6. No. 2. P. 57–64. DOI: 10.23947/2413-1474-2022-6-2-57-64. EDN: UHDMBA.

19. Afinogenova A. G., Afinogenov G. E., Bogdanova T. Ya. Instruction No. 06/07 on the use of “Lysoformin 3000” for disinfection, cleaning and sterilization purposes manufactured by the company “Lysoform Dr. Hans Rosemann GmbH” (Germany), packaged at Hygiene Plus LLC, Russia. [Electronic resource]. Access point: http://dezshare.ru/documents/223/Lisoformin_3000_06-07_2007.pdf (reference’s date 05.12.2022).

20. Patent of the Russian Federation No. 2720916 C1 “Sterilization method of green plant explants before introduction into culture *in vitro*” // Authors: Rebrov A. N., Trofimova M. S. Patentee: Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Rostov Agrarian Scientific Center”. 14.05.2020. Bull. No. 14. 6 p.

21. Patent of the Russian Federation No. 2542528 C2 “Fungicidal composition” // Authors: Zemchenkova G. K., Davletov R. D., Kolbin A. M. Patentee: State Budgetary Institution of the Republic of Bashkortostan “Scientific Research Technological Institute of Herbicides and Plant Growth Regulators with experimental production of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan”. 20.02.2015. Bull. No. 5. 14 p.

22. Safety data sheet of chemical products K6F99AA. [Electronic resource]. Access point: <https://h20195.www2.hp.com/v2/GetDocument.aspx?docname=c07399053> (reference’s date 01.11.2022).

23. Ugur R. Development of *in vitro* sterilization protocol for DO-1 (*Prunus domestica*) rootstock // Applied Ecology and Environmental Research. 2020. Vol. 18. No. 2. P. 2339–2349. DOI: 10.15666/aer/1802_23392349.

24. Practicum on veterinary microbiology and immunology // Ed. by Kislenco N. N. Moscow: KolosS, 2005. 232 p.

25. Ministry of Health of the Russian Federation. The State Pharmacopoeia of the Russian Federation. Vol. XIII. Moscow: FEMB, 2015. [Electronic resource]. Access point: <https://pharmacopoeia.ru/gosudarstvennaya-farmakopeya-xiii-online-gf-13-online/> (reference’s date 01.11.2022).

26. Chudetsky A. I., Rodin S. A., Zarubina L. V., Kuznetsova I. B., Tyak G. V. Clonal micropropagation and peculiarities of adaptation to *ex vitro* conditions of forest berry plants of the genus *Vaccinium* // Food Processing: Techniques and Technology. 2022. Vol. 52(3). P. 570–581. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-3-2386. EDN: UANYXI.

27. Shakhov V. V., Tashmatova L. V., Matzneva O.V., Khromova T. M. The effectiveness of sterilizing agents in the introduction of cherry varieties to *in vitro* culture // Contemporary horticulture. 2018. No. 4 (28). P. 32–37. DOI: 10.24411/2312-6701-2018-10405. EDN: YRPFGP.

28. Stanislavljević A., Bošnjak D., Štolfa I., Vuković R., Kujundžić T., Drenjančević M. Sterilization of different explant types in micropropagation of CAB-6P and Gisela 6 cherry rootstock // Poljoprivreda. 2017. Vol. 23. No. 2. P. 31–37. DOI: 10.18047/poljo.23.2.5.

UDC 579.64:631.533

Mogilevskaya I. V.

EFFECTIVE STERILIZING PREPARATIONS FOR SUPPRESSING MICROBIAL GROWTH ON *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. EXPLANTS *IN VITRO*

Summary. *Currently, the study of the possibility of using broad-spectrum biocides to suppress the microbial growth is relevant because of the presence of infection in explants after their sterilization with common disinfectants – sodium hypochlorite (“Belizna”), hydrogen peroxide solution (H₂O₂), silver nitrate (AgNO₃). The five pure microbial strains have been isolated by laboratory methods from the model plants *R. pseudoacacia* L. *in vitro*. The goal of the study was to determine the efficiency of chemical biocides against specific microorganism types in *R. pseudoacacia* *in vitro*. The research was carried out in 2021–2022 at the Laboratory of Biotechnologies of the FSBSI “Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences”. The objects of the study were pure strains isolated from the affected explants of *R. pseudoacacia* L. We studied the effect of preparations (those that are used in standard protocols for the sterilization of *R. pseudoacacia* and first-proposed for microbial growth suppression: “Dezover”, 5%; “Proxel GXL”, 2 % and 5 %; “Dezavid”) on the growth of the isolated pure strains. For all preparations used in the study, the mean growth inhibition zone of strains in the nutrient agar was determined. The diffusion method from the holes to the agar was used to test the efficiency of the microbial growth suppression. Among the studied preparations, “Dezover”, 5 %; “Dezavid” (polyhexamethylene guanidine concentration – 0.14 %) and “Proxel GXL” effectively suppressed all isolated microorganisms. “Proxel GXL” (2 % and 5 %) showed the highest efficiency among the studied preparations, exceeding “Lysoformin” (1% and 5%) by 42% and 90%, respectively. The average delay zones for these preparations were more than 25 mm. This confirms the high sensitivity of the microorganisms isolated during these preparations’ study. The strains were not sensitive to AgNO₃ (0.1 %), H₂O₂ (10 %) and NaOCl (“Belizna”, 10 %) by 100 % and 60 % (for the last two preparations), respectively. The research serves as the basis for the development of the protocol for the sterilization of explants *R. pseudoacacia* *in vitro*.*

Keywords: *Robinia pseudoacacia* L., sterilization, biocides, microorganisms, *in vitro*.

Могилевская Ирина Владимировна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологий по древесным и кустарниковым породам селекционно-семеноводческого центра, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»; 400062, Россия, г. Волгоград, проспект Университетский, 97; e-mail: info@vfanc.ru.

Mogilevskaya Irina Vladimirovna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher of the Biotechnology Laboratory for Tree and Shrub Species of the Breeding and Seed-Growing Center of the Federal State Budgetary Institution “Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences”; 97, Universitetskiy Prospekt, Volgograd, 400062, Russia; e-mail: info@vfanc.ru.

Дата поступления в редакцию – 16.12.2022.

Дата принятия к печати – 20.01.2023.

УДК 582.688.4:57.085.2

DOI: 10.5281/zenodo.7898485

EDN ESJIQT

Семенова Д. А., Крахмалева И. Л., Мишанова Е. В., Молканова О. И.,
Митрофанова И. В.**ОСОБЕННОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ *ACTINIDIA ARGUTA* В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO***

ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН»

Реферат. *Actinidia arguta* (Sieb. et Zucc.) Planch. ex Miq. или мини-киви является ценной плодово-ягодной культурой. В настоящее время для размножения малораспространенных сортов *A. arguta*, успешно интродуцированных в условиях умеренного климата, актуально применять биотехнологические методы. Цель исследования – оптимизация приемов культивирования на этапе собственно микроразмножения перспективных сортов *A. arguta* для разработки эффективного метода клонального микроразмножения этой ценной культуры. Исследования проводили в 2022 г. в лаборатории биотехнологии растений Главного ботанического сада им. Н. В. Цицина Российской академии наук. В качестве объектов выбраны перспективные сорта селекции Федерального научного селекционно-технологического центра садоводства и питомниководства (Солнечный, Золотая Коса и Таежный Дар) и отборная мужская форма *A. arguta*. В процессе изучения установлено влияние генетических особенностей и состава питательной среды на регенерационный потенциал *A. arguta*. В качестве регуляторов роста использовали 6-бензиламинопурин, метатополин и тидиазурон. Установлено, что на питательной среде Quorin and Leroivre (QL) при повышении концентрации 6-бензиламинопурина с 0,5 до 1,0 мг/л высота микропобегов уменьшалась у сортов Солнечный (от $18,8 \pm 0,7$ до $12,4 \pm 0,6$ мм) и Таежный Дар (от $22,8 \pm 1,0$ до $19,1 \pm 1,1$ мм). При этом использование исследуемых концентраций 6-бензиламинопурина способствовало увеличению коэффициента размножения у большинства сортов, но существенных различий обнаружено не было. Вместе с тем установлена эффективность применения 0,5 мг/л метатополина в среде QL по сравнению с применением 0,5 мг/л 6-бензиламинопурина и 0,5 мг/л тидиазурана. При культивировании на среде с метатопололином у большинства сортов увеличивались высота микропобегов (от $21,2 \pm 1,1$ до $31,2 \pm 1,1$ мм в зависимости от сорта) и коэффициент размножения (от $9,0 \pm 0,7$ до $14,8 \pm 0,8$). Добавление тидиазурана в среду QL вызывало различные морфологические отклонения у эксплантов *A. arguta*.

Ключевые слова: мини-киви (*Actinidia arguta* (Sieb. et Zucc.) Planch. ex Miq.), клональное микроразмножение, регуляторы роста, коэффициент размножения.

Для цитирования: Семенова Д. А., Крахмалева И. Л., Мишанова Е. В., Молканова О. И., Митрофанова И. В. Особенности регенерации перспективных сортов *Actinidia arguta* в культуре *in vitro* // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(32). С. 93–103. DOI: 10.5281/zenodo.7898485. EDN: ESJIQT.

For citation: Semenova D. A., Krakhmaleva I. L., Mishanova E. V., Molkanova O. I., Mitrofanova I. V. Features of regeneration *in vitro* in promising *Actinidia arguta* cultivars // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(32). P. 93–103. DOI: 10.5281/zenodo.7898485. EDN: ESJIQT.

Введение

Actinidia arguta (Sieb. et Zucc.) Planch. ex Miq. или мини-киви – древесная лиана из рода *Actinidia* Lindl., которая приобретает в настоящее время всё большее значение. Плоды *A. arguta* содержат витамины, полисахариды, фенолы, флавоны, алкалоиды, пектины и значительное количество минералов [1], богаты лютеином (до 0,93 мг/100 г сырой массы), витамином С (до 101 мг/100 г сырой массы), миоинозитолом (до 982 мг/100 г сырой массы) и веществами Р-активности (до 55 мг/100 г) [2, 3]. Кожура съедобна и содержит в 15 раз больше антиоксидантов, чем мякоть плода [4].

Большое количество важных с медицинской точки зрения химических веществ *A. arguta* послужили поводом для исследований его антиоксидантных, противоопухолевых и противовоспалительных свойств. Подтвержден потенциал этого растения в лечении гиперхолестеринемии, некоторых видов онкологии и желудочно-кишечных заболеваний [4]. Содержащийся в плодах актинидин способствует более полному и легкому усвоению белков в организме человека [3].

По результатам исследований регулярное употребление продуктов, содержащих фитохимические вещества (таких как полифенолы, каротиноиды и фитостеролы), оказывает существенное влияние на предупреждение некоторых заболеваний человека [5]. Поэтому особо актуальным становится поиск продуктов растительного происхождения, содержащих большое количество биологически активных компонентов и характеризующихся высокими вкусовыми качествами.

Цветки и плоды *A. arguta* содержат много соединений, представляющих интерес для производителей парфюмерно-косметической промышленности: линалоол и его производные – оксиды линалоола, альдегиды сирени, спирты и эпоксиды. Ароматический профиль является сложным, сочетающим ароматы цветов, банана и дыни с ароматами черной смородины, цитрусовых и тропических фруктов [6, 7].

A. arguta вместе с *A. kolomikta* (Rupr. et Maxim) Maxim. и *A. polygama* (Sieb. et Zucc.) Maxim. является одним из трех видов рода *Actinidia*, отличающаяся своей морозостойкостью. *A. arguta* способна выдерживать температуру до –30 °С. Коммерческие плантации в основном расположены в Северной Америке, Новой Зеландии, Европе и Китае [6]. Единичные фермерские хозяйства расположены в России. В 1980–1987 гг. в Юго-Восточной части Московской области в ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства» (ФНЦ Садоводства) начали интродуцировать вид *A. arguta*, сейчас коллекция включает более 60 образцов. В последнее время созданы и защищены патентами РФ пять сортов *A. arguta*: Горянка, Дачная, Натэлла, Таежный Дар с цветками функционально женскими и Солнечный с мужским типом цветения, обладающих достаточной зимостойкостью для возделывания в открытом грунте без укрытия и снятия со шпалер в зоне умеренного климата. Растения устойчивы к болезням и вредителям в полевых условиях, их засухоустойчивость и жаростойкость – средней степени [8].

Существует ряд трудностей при получении генетически однородного посадочного материала *A. arguta*. Данный вид является двудомным с облигатным ксеногамным типом опыления и при генеративном способе размножения характеризуется гетерогенностью. При семенном размножении в количественном соотношении могут преобладать растения как мужского, так и женского пола в зависимости от места произрастания исходных растений [9]. Поэтому поиск методов диагностики пола актинидии и критериев ее оценки на ювенильной стадии развития растений является важным направлением исследования [6]. Вегетативное

размножение мало распространенных сортов осложняется отсутствием большого количества маточных растений, так как некоторые перспективные сортообразцы представлены единичными экземплярами.

Поэтому возникает необходимость использования современных биотехнологических приемов для производства большого количества высококачественного посадочного материала данной культуры. Первый протокол микроразмножения актинидии был разработан Harada (1975) [10] и впоследствии был усовершенствован [11]. Большинство исследований проведено на виде *A. deliciosa* [12–14]. В 2017 г. опубликовано исследование, касающееся введения в культуру *in vitro* и микроразмножения *A. arguta* сорта 'Issai'. В качестве питательной среды на стадии микроразмножения была использована среда Cheng с добавлением 1,0 мг/л 6-бензиламинопурина (ВА) и 0,2 мг/л гибберелловой кислоты (GA₃). Количество микропобегов при таком размножении не превышало 3 шт./эксплант [15]. В 2020 г. Radhia Nameg и др. проведена большая работа по моделированию и оптимизации питательной среды для культивирования *A. arguta* сорта 'Issai'. Разработанная питательная среда R отличалась от Murashige and Skoog снижением содержания азота на 20 %, повышением почти на 200 % всех остальных макроэлементов (Ca²⁺, Mg²⁺, PO₄³⁻ и SO₄²⁻), увеличением на 50 % концентрации железа и на 100 % концентрации микроэлементов. В состав также входили 1,0 мг/л ВА и 1,0 мг/л GA₃. Отмечено, что данная среда требует дополнительной модификации с учетом таких факторов, как концентрации витаминов, органических соединений и регуляторов роста [16].

Имеется ряд научных публикаций, указывающих на влияние регуляторов роста на развитие сортов *A. arguta* [17–19]. Сейчас актуальным является вопрос повышения коэффициента размножения у современных сортов *A. arguta*, так как ранее показано, что сортовые особенности оказывают существенное влияние на регенерацию микропобегов *in vitro* [17].

Цель исследований – оптимизация приемов культивирования на этапе собственно микроразмножения перспективных сортов *A. arguta* для разработки эффективного метода клонального микроразмножения этой ценной культуры.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили на базе лаборатории биотехнологии растений ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН) в 2022 г. Объектами исследования были перспективные сорта (Солнечный, Золотая Коса и Таежный Дар) и отборная мужская форма *A. arguta*.

Методика биотехнологических исследований с культурами изолированных тканей и органов растений основана как на общепринятых классических приемах [20], так и разработанных в лаборатории биотехнологии растений ГБС РАН [18].

Для введения в культуру *in vitro* образцы актинидии отобраны из коллекции ФНЦ Садоводства. В качестве первичных эксплантов для инициации роста и развития использовали апикальные и латеральные почки. Оптимальной была последовательная стерилизация эксплантов, состоящая из обработки 2 % раствором фундазола с экспозицией 10 минут, 70 % этанолом в течение 30 секунд и 7 % гипохлоритом кальция с добавлением 1–2 капель Твин-20 в течение 5–7 минут. Некоторые экспланты культивировали в течение 10 суток на питательной среде QL (Quorin and Lepoivre, 1977) [21] с добавлением 0,25 мг/л антибиотика гентамицина.

В опыте использовали питательную среду QL, на которой ранее были получены оптимальные результаты [18]. В процессе исследования оценивали влияние концентраций ВА (0,5; 0,8; 1,0 мг/л) и различных регуляторов роста (ВА, метатополина (mT) и тидиазурона (TDZ) в концентрации 0,5 мг/л) на

морфометрические показатели изучаемых сортов *in vitro*. Контролем служила питательная среда с добавлением 0,5 мг/л ВА.

Регенеранты культивировали при освещении 1500–2000 лк, 16-часовом фотопериоде и температуре 23–25 С. Исследования проводили в трех повторностях, по 10 эксплантов в каждом варианте. Через 30 суток культивирования измеряли высоту микропобегов и учитывали число микропобегов, коэффициент размножения и частоту спонтанного ризогенеза.

Статистическую обработку данных проводили согласно стандартным методам с использованием пакета программ PAST (PAleontological STatistics). Достоверность различий между вариантами рассчитывали по t–критерию Стьюдента при $p \leq 0,05$. В таблицах и графиках представлены средние значения и их стандартные ошибки.

Результаты и их обсуждение

При оптимизации технологии клонального микроразмножения необходимо учитывать особенности биологии и регенерации *in vitro* каждого таксона, которые зависят от множества факторов. Основными из них являются: генотип, эпигенетические характеристики клеток экспланта, физиологическое состояние интактных растений, состав питательной среды и условия культивирования.

При клональном микроразмножении неотъемлемым компонентом питательных сред являются регуляторы роста. Цитокинины влияют на различные ростовые процессы растений: способствуют делению клеток, индуцируют дифференцировку побегов, снимают апикальное доминирование, задерживают старение. Одним из самых наиболее используемых и эффективных регуляторов роста является ВА. Однако его применение часто оказывает негативное влияние на развитие растений, так как в процессе гликозилирования ВА образуются довольно устойчивые соединения – 6-бензиламинопурин-9-гликозиды, которые при накоплении ингибируют развитие тканей [22].

Нами установлено влияние концентрации ВА на морфометрические показатели сортов *A. arguta* (таблица 1).

Таблица 1 – Морфометрические показатели перспективных сортов *A. arguta* на этапе собственно микроразмножения при культивировании на питательной среде QL с ВА

Генотип	Концентрация ВА, мг/л	Высота, мм	Число микропобегов, шт.	Коэффициент размножения
Отборная мужская форма	0,5 (контроль)	17,3 ± 0,9	1,9 ± 0,1	8,4 ± 0,4
	0,8	16,2 ± 0,9	2,2 ± 0,1	8,5 ± 0,4
	1,0	14,8 ± 0,7	2,1 ± 0,1	7,6 ± 0,4
Солнечный	0,5 (контроль)	18,8 ± 0,7	2,0 ± 0,1	7,0 ± 0,3
	0,8	12,3 ± 0,6	1,9 ± 0,1	7,0 ± 0,3
	1,0	12,4 ± 0,6	2,3 ± 0,1	8,4 ± 0,4
Золотая Коса	0,5 (контроль)	17,4 ± 1,0	2,1 ± 0,1	9,8 ± 0,5
	0,8	16,9 ± 1,0	2,2 ± 0,2	10,0 ± 0,5
	1,0	17,6 ± 1,1	2,5 ± 0,1	10,9 ± 0,5
Таежный Дар	0,5 (контроль)	22,8 ± 1,0	1,9 ± 0,1	6,0 ± 0,4
	0,8	19,4 ± 1,2	2,1 ± 0,1	8,4 ± 0,4
	1,0	19,1 ± 1,1	2,1 ± 0,1	7,9 ± 0,3

Выявлено, что наибольшей высотой микропобегов отличались сорта Солнечный (18,8 ± 0,7 мм) и Таежный Дар (22,8 ± 1,0 мм) на среде QL с ВА в концентрации 0,5 мг/л. У отборной мужской формы и сорта Золотая Коса в вариантах с разной концентрацией ВА существенных различий не обнаружено.

Число микропобегов у всех исследуемых сортов в среднем составило 2 шт./эксплант. При этом сорт Золотая Коса характеризовался наибольшим числом микропобегов ($2,5 \pm 0,1$ шт.) на среде с 1,0 мг/л ВА. Установлено, что с повышением концентрации ВА, вне зависимости от сорта, коэффициент размножения увеличивался. Однако у отборной мужской формы и сорта Таежный Дар при увеличении концентрации ВА до 1,0 мг/л наблюдали снижение коэффициента размножения. Отмечено, что наибольшим значением данного показателя характеризовался сорт Золотая Коса (от 9,8 до 10,9). В целом, коэффициент размножения существенно не отличался при использовании различных концентраций ВА, что позволяет использовать более низкие концентрации данного цитокинина на этапе собственно размножения.

В настоящее время из экстракта листьев тополя (*Populus × canadensis* Moench, cv. *robusta*) получен новый ароматический цитокинин – метатополин, который индуцирует образование микропобегов *in vitro* без морфологических деформаций (некроза кончиков побегов, гипергидратации и проч.) [23, 24]. При применении мТ на *Actinidia chinensis* var. *Chinensis* установлено, что показатели количества микропобегов и их массы, количества и площади листьев становятся значительно выше по сравнению с ВА или зеатином [25].

Нами установлено влияние различных типов цитокининов на рост и развитие сортов *A. arguta* (таблица 2).

Таблица 2 – Морфометрические показатели перспективных сортов *A. arguta* на этапе собственно микроразмножения при применении разных регуляторов роста

Генотип	Тип регулятора роста	Высота микропобегов, мм	Число микропобегов, шт.
Отборная мужская форма	ВА (контроль)	$18,6 \pm 1,3$	$1,9 \pm 0,1$
	мТ	$21,2 \pm 1,1$	$1,9 \pm 0,2$
	TDZ	$13,0 \pm 1,2$	$1,2 \pm 0,1$
Солнечный	ВА (контроль)	$20,5 \pm 1,3$	$1,9 \pm 0,1$
	мТ	$28,4 \pm 1,4$	$2,3 \pm 0,2$
	TDZ	$15,7 \pm 1,1$	$1,4 \pm 0,1$
Золотая Коса	ВА (контроль)	$14,8 \pm 1,0$	$2,1 \pm 0,2$
	мТ	$25,2 \pm 1,3$	$2,8 \pm 0,1$
	TDZ	$9,8 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,0$
Таежный Дар	ВА (контроль)	$24,3 \pm 1,3$	$1,8 \pm 0,1$
	мТ	$31,2 \pm 1,1$	$2,1 \pm 0,1$
	TDZ	$25,6 \pm 1,2$	$1,8 \pm 0,2$

При использовании мТ отмечено увеличение высоты микропобегов у всех исследуемых сортов. При этом в случае сортов Золотая Коса и Таежный Дар этот показатель достигал максимума ($25,2 \pm 1,3$ мм и $31,2 \pm 1,1$ мм соответственно) и достоверно отличался от других вариантов. Высота регенерантов отборной мужской формы не отличалась существенно в вариантах с ВА и мТ. При применении TDZ наблюдали наименьшие значения, только у сорта Таежный Дар данный регулятор способствовал увеличению высоты микропобегов.

Число микропобегов варьировало от $1,0 \pm 0,0$ до $2,8 \pm 0,1$ шт. Своего максимума этот показатель достигал при культивировании сорта Золотая Коса на варианте с мТ ($2,8 \pm 0,1$ шт.). Число микропобегов отборной мужской формы и сорта Солнечный не отличались существенно друг от друга на питательных средах с добавлением ВА и мТ. У сорта Таежный Дар во всех вариантах исследуемых сред установлено увеличение числа микропобегов и различий между ними не обнаружено. Вместе с тем отмечено, что добавление в питательную среду TDZ не

стимулировало образование новых микропобегов у большинства исследуемых сортов.

Изучение влияния типа регулятора роста на коэффициент размножения на этапе собственно микроразмножения показало, что данный параметр имел тенденцию к существенному увеличению на питательных средах с мТ, за исключением варианта с отборной мужской формой. При этом наибольшего значения данный показатель достигал у сорта Золотая Коса – $14,8 \pm 0,8$ (рисунки 1, 2).

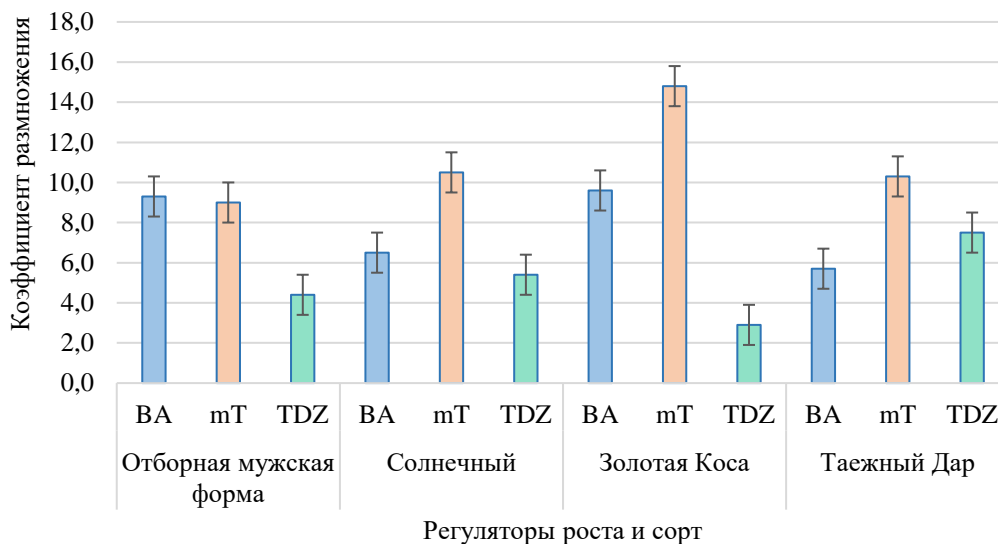


Рисунок 1 – Варьирование коэффициента размножения перспективных сортов *A. arguta* in vitro на средах с различными регуляторами роста

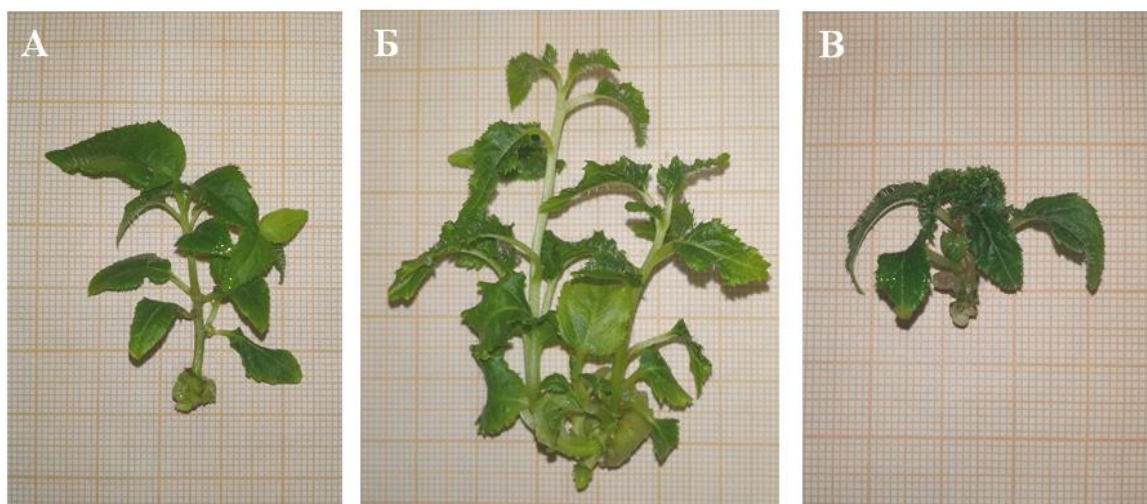


Рисунок 2 – Развитие микропобегов сорта Золотая Коса на этапе собственно микроразмножения: А – 6–BA 0,5 мг/л (контроль), Б – mT 0,5 мг/л, В – TDZ 0,5 мг/л

Применение TDZ для индукции побегообразования приводило в большинстве случаев к появлению оводненных микропобегов, что, в свою очередь, значительно снижало количество регенерантов, которые можно использовать для дальнейшего микроразмножения и укоренения.

В процессе культивирования у сортов *A. arguta* через 30 суток отмечен спонтанный ризогенез с различной частотой корнеобразования (рисунки 3, 4).

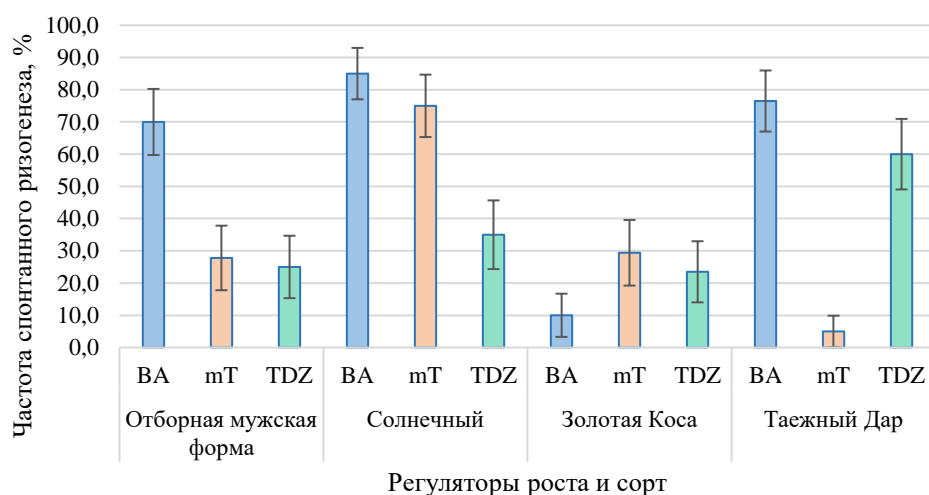


Рисунок 3 – Частота спонтанного ризогенеза перспективных сортов *A. arguta* *in vitro* при использовании разных регуляторов роста

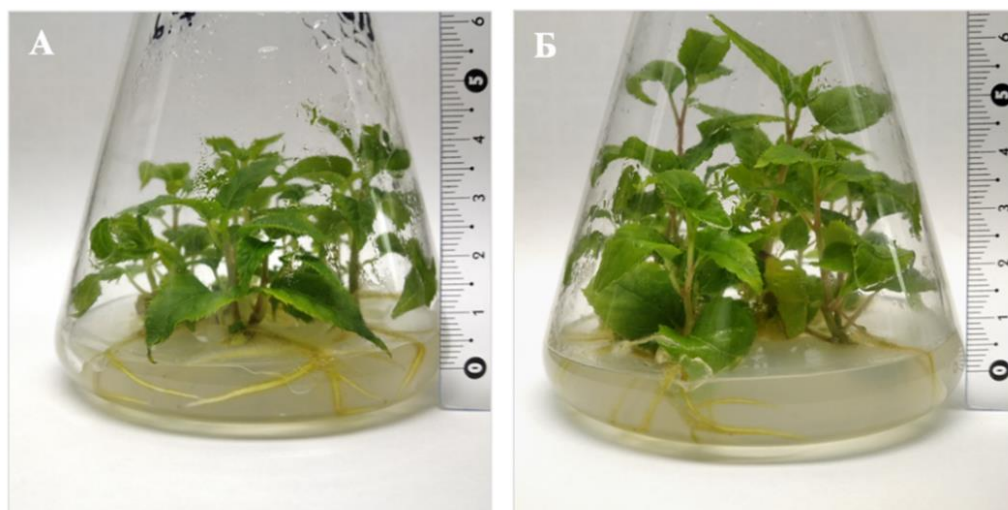


Рисунок 4 – Спонтанный ризогенез сортов *A. arguta* на питательной среде QL с 0,5 мг/л BA: А – Солнечный, Б – Таежный Дар

На этапе собственно микроразножения из трех используемых цитокининов наибольшая частота корнеобразования была получена на среде с добавлением BA, за исключением сорта Золотая Коса – наибольший процент укорененных регенерантов в этом случае наблюдали на средах с mT и TDZ ($29,4 \pm 10,2$ % и $23,5 \pm 9,5$ % соответственно). Следует отметить, что применение mT в большинстве случаев ингибировало спонтанный ризогенез. Исследования особенностей ризогенеза у сортов и форм *A. arguta* будут продолжены.

Выводы

В процессе исследования выявлено, что на морфогенетический потенциал сортов *A. arguta* на этапе собственно микроразмножения оказывали влияние генетические особенности, тип и концентрация регулятора роста.

Оптимальным для культивирования сортов *A. arguta* является среда QL с меньшей концентрацией BA – 0,5 мг/л, так как число микропобегов и коэффициент размножения при сравнении с другими концентрациями BA (0,8 и 1,0 мг/л) существенно не отличались.

Установлена эффективность применения мТ в концентрации 0,5 мг/л в питательной среде QL для большинства исследуемых сортов. Использование мТ индуцировало образование новых микропобегов (от $1,9 \pm 0,2$ до $2,8 \pm 0,1$ в зависимости от сорта), увеличивало их высоту (от $21,2 \pm 1,1$ до $31,2 \pm 1,1$ мм) и коэффициент размножения (от $9,0 \pm 0,7$ до $14,8 \pm 0,8$).

Выявлено, что применение 0,5 мг/л TDZ для микроразмножения большинства исследуемых сортов *A. arguta* не эффективно. Вместе с тем, при культивировании на среде QL с 0,5 мг/л TDZ у эксплантов наблюдали различные морфологические изменения, что отрицательно влияло на их дальнейшее микроразмножение и укоренение.

При длительном культивировании (более 30 суток) у исследуемых сортов *A. arguta* отмечен спонтанный ризогенез с различной частотой корнеобразования.

Скрининг коллекционных образцов дальневосточных видов рода *Actinidia* ФНЦ Садоводства, оптимизация приемов культивирования и оценка морфогенетического потенциала выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-16-00074.

Литература

1. Figiel-Kroczyńska M., Ochmian I., Lachowicz S., Krupa-Mańkiewicz M., Wróbel J., Gamrat R. *Actinidia* (mini kiwi) fruit quality in relation to summer cutting // *Agronomy*. 2022. Vol. 11(5). Art. No. 964. DOI: 10.3390/agronomy11050964.
2. Wang H., Quan H., Sun T., Wang Z., Yang Y. Chemical composition, antimicrobial, and antioxidant cytotoxic activities of essential oil from *Actinidia arguta* // *Archives of Microbiology*. 2022. Vol. 204(5). Art. No. 239. DOI: 10.1007/s00203-022-02775-3.
3. Козак Н. В., Имамкулова З. А. Интродукция и селекция актинидии аргуа в Подмосковь // *Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений*. 2018. Т. 21. С. 95–98.
4. Latocha P. The nutritional and health benefits of kiwiberry (*Actinidia arguta*) – a review // *Plant Foods for Human Nutrition*. 2017. Vol. 72(4). P. 325–334. DOI: 10.1007/s11130-017-0637-y.
5. Almeida D., Pinto D., Santos J., Vinha A. F., Palmeira J., Ferreira H. N., Rodrigues F., Oliveira M. B. P. P. Hardy kiwifruit leaves (*Actinidia arguta*): an extraordinary source of value-added compounds for food industry // *Food Chemistry*. 2018. Vol. 259. P. 113–121. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.03.113.
6. Hastings W. Growing kiwiberries in New England: a guide for regional producers. Master's Theses and Capstones. Durham: University of New Hampshire, 2018. 144 p.
7. Chen X., Yauk Y. K., Nieuwenhuizen N. J., Matich A. J., Wang M. Y., Perez R. L., Beuning L. L. Characterisation of an (S)-linalool synthase from kiwifruit (*Actinidia arguta*) that catalyses the first committed step in the production of floral lilac compounds // *Functional Plant Biology*. 2010. Vol. 37(3). P. 232–243. DOI: 10.1071/FP09179.
8. Козак Н. В., Имамкулова З. А., Медведев С. М. *Actinidia arguta* в коллекции редких ягодных культур ФГБНУ ВСТИСП // *Биология растений и садоводство: теория, инновации*. № 144–1. 2017. P. 24–28.
9. Колбасина Э. И., Соловьева Л. В., Тульнова Н. Н., Козак Н. В., Скрипченко Н. В., Мороз П. А., Корчемная Н. А., Гвоздецкая А. И. Культурная флора России: Актинидия. Лимонник. М.: Россельхозакадемия, 2007. 327 с.
10. Harada H. *In vitro* organ culture of *Actinidia chinensis* PL as a technique for vegetative multiplication // *Journal of Horticultural Science*. 1975. Vol. 50. P. 81–83. DOI: 10.1080/00221589.1975.11514606.
11. Standardi A. Micropropagazione dell' *Actinidia chinensis* Planch. mediante coltura *in vitro* di apici meristemati // *Frutticoltura*. 1981. Vol. 43. P. 23–27.
12. Mitrofanova I. V., Mitrofanova O. V. Using broad genetic diversity and *in vitro* culture to enhance breeding of some subtropical fruit plants // *Acta Horticulturae*. 2000. Vol. 538. P. 169–172. DOI: 10.17660/ActaHortic.2000.538.27.
13. Akbas F. A., Isikalan C., Namli S., Basaran D. Micropropagation of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) // *International Journal of Agriculture and Biology*. 2007. Vol. 52. P. 146–148.
14. Nasib A., Ali K., Khan S. An optimized and improved method for the *in vitro* propagation of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) using coconut water // *Pakistan Journal of Botany*. 2008. Vol. 40(6). P. 2355–2360.

15. Hameg R., Gallego P., Barreal M. E. *In vitro* establishment and multiplication of hardy kiwi (*Actinidia arguta* 'Issai') // Acta Horticulturae. 2017. P. 51–58. DOI:10.17660/ActaHortic.2017.1187.6.
16. Hameg R., Arteta T. A., Landin M., Gallego P. P., Barreal M. E. Modeling and optimizing culture medium mineral composition for *in vitro* propagation of *Actinidia arguta* // Frontiers in Plant Science. 2020. Vol. 11. P. 1–19. DOI: 10.3389/fpls.2020.554905.
17. Malaeva E. V., Molkanova O. I. Regeneration peculiarities of *in vitro* berry cultures // Acta Horticulturae. 2021. Vol. 1324. P. 89–94. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1324.13.
18. Molkanova O., Krakhmaleva I., Kozak N. Genetic resources and features of clonal micropropagation of Far Eastern species of *Actinidia* // BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference “VAVILOV READINGS-2021” (VVRD 2021) dedicated to the 101st anniversary of the discovery of the law of homological series and the 134th anniversary of the birth of N. I. Vavilov. 2022. Vol. 43. Art. No. 03021. DOI: 10.1051/bioconf/20224303021.
19. Тутъ Е. А., Упадъшев М. Т. Особенности микроразмножения актинидии и лимонника китайского // Сельскохозяйственная биология. 2008. Т. 43. № 3. С. 96–101.
20. Бутенко Р. Г. Биология культивируемых клеток и биотехнология растений. М.: Наука, 1991. 279 с.
21. Quoirin M., Lepoivre P. Improved media for *in vitro* culture of *Prunus* sp. // Acta Horticulturae. 1977. Vol. 78. P. 437–442. DOI: 10.17660/ActaHortic.1977.78.54.
22. Яблонская М. И., Книшкайте А. В., Романова Е. В. Мета-тополин как альтернатива бензиладенину при размножении растений *in vitro* // Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные процессы в АПК». М.: РУДН, 2014. С. 88–89.
23. Strnad M., Hanuš J., Vaněk T., Kamínek M., Ballantine J. A., Fussell B., Hanke D. E. Meta-topolin, a highly active aromatic cytokinin from poplar leaves (*Populus × canadensis* Moench., cv. *robusta*) // Phytochemistry. 1997. Vol. 45(2). P. 213–218.
24. Verma V., Kumar A., Chaudhary P., Chauhan S., Thakur M., Bhargava B. Meta-topolin mediated *in vitro* propagation in an ornamentally important crop *Iris × hollandica* Tub. cv. *Professor Blaauw* and genetic fidelity studies using SCOT markers // Research Square. 2022. P. 1–28. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1583057/v1.
25. Saeiahagh H., Wiedow C., Bassett H., Pathirana R. Effect of cytokinins and sucrose concentration on the efficiency of micropropagation of 'Zes006' *Actinidia chinensis* var. *chinensis*, a red-fleshed kiwifruit cultivar // Plant Cell Tissue and Organ Culture. 2019. Vol. 138. P. 1–10. DOI: 10.1007/s11240-019-01597-4.

References

1. Figiel-Kroczyńska M., Ochmian, I., Lachowicz S., Krupa-Małkiewicz M., Wróbel J., Gamrat R. *Actinidia* (mini kiwi) fruit quality in relation to summer cutting // Agronomy. 2022. Vol. 11(5). Art. No. 964. DOI: 10.3390/agronomy11050964.
2. Wang H., Quan H., Sun T., Wang Z., Yang Y. Chemical composition, antimicrobial, and antioxidant cytotoxic activities of essential oil from *Actinidia arguta* // Archives of Microbiology. 2022. Vol. 204(5). Art. No. 239. DOI: 10.1007/s00203-022-02775-3.
3. Kozak N. V., Imamkulova Z. A. Introduction and selection of *Actinidia arguta* in Moscow region // Gardening, seed growing, introduction of woody plants. 2018. Vol. 21. P. 95–98.
4. Latocha P. The nutritional and health benefits of kiwiberry (*Actinidia arguta*) – a review // Plant Foods for Human Nutrition. 2017. Vol. 72(4). P. 325–334. DOI: 10.1007/s11130-017-0637-y.
5. Almeida D., Pinto D., Santos J., Vinha A. F., Palmeira J., Ferreira H. N., Rodrigues F., Oliveira M. B. P. P. Hardy kiwifruit leaves (*Actinidia arguta*): an extraordinary source of value-added compounds for food industry // Food Chemistry. 2018. Vol. 259. P. 113–121. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.03.113.
6. Hastings W. Growing kiwiberries in New England: a guide for regional producers. Master's Theses and Capstones. Durham: University of New Hampshire, 2018. 144 p.
7. Chen X., Yauk Y. K., Nieuwenhuizen N. J., Matich A. J., Wang M. Y., Perez R. L., Beuning L. L. Characterisation of an (S)-linalool synthase from kiwifruit (*Actinidia arguta*) that catalyses the first committed step in the production of floral lilac compounds // Functional Plant Biology. 2010. Vol. 37(3). P. 232–243. DOI: 10.1071/FP09179.
8. Kozak N. V., Imamkulova Z. A., Medvedev S. M. *Actinidia arguta* in collections of rare berry crops ARHIBAN // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2017. No. 144–1. P. 24–28.
9. Kolbasina E. I., Solovyova L. V., Tulnova N. N., Kozak N. V., Skripchenko N. V., Moroz P. A., Korchemnaya N. A., Gvozdetskaya A. I. Cultured Flora of Russia: Volume Actinidia. Schisandra. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences, 2007. 327 p.
10. Harada H. *In vitro* organ culture of *Actinidia chinensis* PL as a technique for vegetative multiplication // Journal of Horticultural Science. 1975. Vol. 50. P. 81–83. DOI: 10.1080/00221589.1975.11514606.

11. Standardi A. Micropropagazione dell' *Actinidia chinensis* Planch. mediante coltura *in vitro* di apici meristematici // Frutticoltura. 1981. Vol. 43. P. 23–27.
12. Mitrofanova I. V., Mitrofanova O. V. Using broad genetic diversity and *in vitro* culture to enhance breeding of some subtropical fruit plants // Acta Horticulturae. 2000. Vol. 538. P. 169–172. DOI: 10.17660/ActaHortic.2000.538.27.
13. Akbas F. A., Isikalan C., Namli S., Basaran D. Micropropagation of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) // International Journal of Agriculture and Biology. 2007. Vol. 52. P. 146–148.
14. Nasib A., Ali K., Khan S. An optimized and improved method for the *in vitro* propagation of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) using coconut water // Pakistan Journal of Botany. 2008. Vol. 40(6). P. 2355–2360.
15. Hameg R., Gallego P., Barreal M. E. *In vitro* establishment and multiplication of hardy kiwi (*Actinidia arguta* 'Issai') // Acta Horticulturae. 2017. P. 51–58. DOI:10.17660/ActaHortic.2017.1187.6.
16. Hameg R., Arteta T. A., Landin M., Gallego P. P., Barreal M. E. Modeling and optimizing culture medium mineral composition for *in vitro* propagation of *Actinidia arguta* // Frontiers in Plant Science. 2020. Vol. 11. P. 1–19. DOI: 10.3389/fpls.2020.554905.
17. Malaeva E. V., Molkanova O. I. Regeneration peculiarities of *in vitro* berry cultures // Acta Horticulturae. 2021. Vol. 1324. P. 89–94. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1324.13.
18. Molkanova O., Krakhmaleva I., Kozak N. Genetic resources and features of clonal micropropagation of Far Eastern species of *Actinidia* // BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference “VAVILOV READINGS-2021” (VVRD 2021) dedicated to the 101st anniversary of the discovery of the law of homological series and the 134th anniversary of the birth of N. I. Vavilov. 2022. Vol. 43. Art. No. 03021. DOI: 10.1051/bioconf/20224303021.
19. Tut' E. A., Upadyshev M. T. Features of micropropagation of actinidia and *Schisandra chinensis* (Turcz) Baill. // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2008. Vol. 43. No. 3. P. 96–101.
20. Butenko R. G. Biology of cultivated cells and plant biotechnology. Moscow: Nauka, 1991. 279 p.
21. Quoirin M., Lepoivre P. Improved media for *in vitro* culture of *Prunus* sp. // Acta Horticulturae. 1977. Vol. 78. P. 437–442. DOI: 10.17660/ActaHortic.1977.78.54.
22. Yablonskaya M. I., Knishkaite A. V., Romanova E. V. Meta-topolin as alternative to benzyladenine in tissue culture // Collection of materials of the VI International scientific and practical conference of teachers, young scientists, graduate students and students “Innovative processes in the agro-industrial complex”. Moscow: RUDN University, 2014. P. 88–89.
23. Strnad M., Hanuš J., Vaněk T., Kamínek M., Ballantine J. A., Fussell B., Hanke D. E. Meta-topolin, a highly active aromatic cytokinin from poplar leaves (*Populus×canadensis* Moench., cv. Robusta) // Phytochemistry. 1997. Vol. 45(2). P. 213–218.
24. Verma V., Kumar A., Chaudhary P., Chauhan S., Thakur M., Bhargava B. Meta-topolin mediated *in vitro* propagation in an ornamentally important crop *Iris × hollandica* Tub. cv. Professor Blaauw and genetic fidelity studies using SCOT markers // Research Square. 2022. P. 1–28. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1583057/v1.
25. Saeiahagh H., Wiedow C., Bassett H., Pathirana R. Effect of cytokinins and sucrose concentration on the efficiency of micropropagation of 'Zes006' *Actinidia chinensis* var. *chinensis*, a red-fleshed kiwifruit cultivar // Plant Cell Tissue and Organ Culture. 2019. Vol. 138. P. 1–10. DOI: 10.1007/s11240-019-01597-4.

UDC 582.688.4:57.085.2

Semenova D. A., Krakhmaleva I. L., Mishanova E. V., Molkanova O. I., Mitrofanova I. V.

FEATURES OF REGENERATION *IN VITRO* IN PROMISING *ACTINIDIA ARGUTA* CULTIVARS

Summary. *Actinidia arguta* (Sieb. et Zucc.) Planch. ex Miq. or mini kiwi is a valuable fruit and berry crop. Nowadays, it is important to use biotechnological methods to propagate rare cultivars of *A. arguta* successfully introduced in temperate climate. The purpose of the study was to optimize the techniques for cultivating promising cultivars of *A. arguta* at the micropropagation stage to develop an effective method for its clonal micropropagation. The studies were carried out in 2022 at the Plant Biotechnology Laboratory of the Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences. Promising cultivars ('Solnechny', 'Zolotaya Kosa' and 'Taezhny Dar') bred at the Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, as well as selective male form of *A. arguta* were the objects of the current study. During the research process, the influence of genetic features and the composition of the culture medium on the regeneration capacity of *A. arguta* was established. 6-benzylaminopurine, meta-topolin and thidiazuron were used as a plant growth regulator. It was found that on the Quorin

and Lepoivre (QL) culture medium, in the case of an increase in the concentration of 6-benzylaminopurine from 0.5 to 1.0 mg/l, the length of microshoots decreased in 'Solnechny' (from 18.8 ± 0.7 to 12.4 ± 0.6 mm) and 'Taezhny Dar' (from 22.8 ± 1.0 to 19.1 ± 1.1 mm). At the same time, the use of the studied 6-benzylaminopurine concentrations contributed to an increase in the multiplication rate in most cultivars, but no significant differences were found. Simultaneously, the effectiveness of 0.5 mg/l meta-topolin in QL medium, compared with 0.5 mg/l 6-benzylaminopurine and 0.5 mg/l thidiazuron, was established. During culturing on a medium with meta-topolin, in most cultivars, both the length of microshoots (from 21.2 ± 1.1 to 31.2 ± 1.1 mm, depending on the cultivar) and the multiplication rate (from 9.0 ± 0.7 to $14, 8 \pm 0.8$) increased. The addition of thidiazuron to QL medium caused various morphological abnormalities in *A. arguta* explants.

Keywords: mini kiwi (*Actinidia arguta* (Sieb. et Zucc.) Planch. ex Miq.), clonal micropropagation, plant growth regulators, multiplication rate.

Семенова Дарья Александровна, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН»; 127276, Россия, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: dariaegor11@gmail.com.

Крахмалева Ирина Леонидовна, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН»; 127276, Россия, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: seglogy@bk.ru.

Мишанова Екатерина Викторовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН»; 127276, Россия, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: mishanova@gbsad.ru.

Молканова Ольга Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН»; 127276, Россия, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: molkanova@mail.ru.

Митрофанова Ирина Вячеславовна, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, начальник отдела научно-инновационной и международной деятельности, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН»; 127276, Россия, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: irimitrofanova@yandex.ru.

Semenova Darya Aleksandrovna, junior researcher of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences; 4, Botanicheskaya str., Moscow, 127276, Russia; e-mail: dariaegor11@gmail.com.

Krakhmaleva Irina Leonidovna, junior researcher of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences; 4, Botanicheskaya str., Moscow, 127276, Russia; e-mail: seglogy@bk.ru.

Mishanova Ekaterina Viktorovna, Cand. Sc. (Biol.), researcher of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences; 4, Botanicheskaya str., Moscow, 127276; e-mail: mishanova@gbsad.ru.

Molkanova Olga Ivanovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, head of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences; 4, Botanicheskaya str., Moscow, 127276, Russia; e-mail: molkanova@mail.ru.

Mitrofanova Irina Vyacheslavovna, corresponded member of the Russian Academy of Science, Dr. Sc. (Biol.), head of Scientific, Innovative and International Activities Department, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences; 4, Botanicheskaya str., Moscow, 127276, Russia; e-mail: irimitrofanova@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 10.12.2022.

Дата принятия к печати – 30.12.2022.

УДК 631.319

DOI: 10.5281/zenodo.7898510

EDN HFFDBB

Соболевский И. В.¹, Куклин В. А.^{1,2}, Калафатов И. И.¹

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ВЫРАВНИВАТЕЛЯ ДЛЯ СТЕРНЕВОГО КУЛЬТИВАТОРА

¹ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»;

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»

Реферат. В современном сельском хозяйстве важное место при обработке почвы занимает выровненность поверхности почвенного пласта. Оптимально выровненная поверхность поля дает возможность заделки на требуемую глубину от 64 до 72 % высеянных семян зерновых культур, при этом не выровненная поверхность снижает эти показатели до 29–35 %. Использование секции упругих выравнивателей в конструкции комбинированного почвообрабатывающего технического средства позволяют повысить качество крошения и выравнивания микрорельефа благодаря равномерному распределению почвенных агрегатов по всей его ширине захвата перед секцией катков. Цель исследований – теоретически обосновать основные конструктивные параметры рабочих органов упругих выравнивателей. Теоретические исследования проведены в отделе механизации производства и разработки новых образцов оборудования ФГБУН «НИИСХ Крыма» в 2022 г. При обосновании параметров рабочих органов упругих выравнивателей использовались основные положения теоретической механики, теории колебаний и удара, движения тела по фрикционной плоскости, о механическом подобии земледельческой механики. Для предложенной конструкции секции упругих выравнивателей применительно к рыхлительным рабочим органам с учетом физико-механических свойств почвы и режимов её обработки получены теоретические зависимости для определения высоты установки выравнивателей Δh , угла раствора крыльев γ , длины крыла $l_{кр}$ и угла наклона крыла выравнивателя α . Анализ полученной теоретической зависимости для тягового сопротивления показал, что наиболее существенное влияние на технологический процесс оказывает показатель гребнистости $H_{гр}$ и величина рабочей скорости $V_{раб}$. При работе на скоростях 10–12 км/ч и при показателе гребнистости 0,1 м значение тягового сопротивления секции выравнивателей составит около 200 Н.

Ключевые слова: гребнистость, стерневой культиватор, рабочий орган выравнивателя, тяговое сопротивление.

Для цитирования: Соболевский И. В., Куклин В. А., Калафатов И. И. Обоснование конструктивных параметров рабочих органов выравнивателя для стерневого культиватора // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 104–112. DOI: 10.5281/zenodo.7898510. EDN: HFFDBB.

For citation: Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Kalafatov I. I. Justification of design parameters of working bodies of the leveler for stubble cultivator // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(33). P. 104–112. DOI: 10.5281/zenodo.7898510. EDN: HFFDBB.

Введение

В современном сельском хозяйстве важное место при обработке почвы занимает выровненность поверхности почвенного пласта. Микрорельеф почвы оказывает значительное влияние на её структуру, распыление, водный режим, рост и развитие растений. Оптимально выровненная поверхность поля дает возможность

заделки на требуемую глубину от 64 до 72 % высеянных семян зерновых культур, при этом не выровненная поверхность снижает эти показатели до 29–35 % [1].

Как показывает анализ существующих технических средств сельскохозяйственного машиностроения и их рабочих органов, используемых для выравнивания поверхности микрорельефа почвы, основное применение нашли рабочие органы, имеющие такой характер движения как: вращательный, вибрационный, комбинированный, поступательный. При этом в полном объеме не изучены рабочие органы почвообрабатывающих технических средств поступательного движения [2].

В работах зарубежных ученых, таких как Francisco P. F. [3], Michael H. [4] при анализе исследования воздействия выравнивающих рабочих органов на почву в качестве начального требования принято обязательное перемещение почвенных агрегатов по рабочей поверхности. Такой анализ динамики перемещения почвенных агрегатов позволяет более точно описать исследуемый процесс оптимальной деформации выравниваемого микрорельефа почвенного профиля на гребнях и бороздах. Дополнительно должны быть учтены исходные характеристики обрабатываемого почвенного пласта при взаимодействии с исследуемым рабочим органом. Дальнейшее обоснование энергетических и качественных показателей позволит обосновать рациональные конструктивные параметры и режимы работы рабочего органа при проведении почвенной обработки [5].

В работах отечественных ученых особого внимания заслуживает вклад академика Горячкина В. П., который проанализировал и обосновал технологические режимы работы как полозовидных, так и ротационных рабочих органов, взяв за основу созданную им теорию земледельческой механики [6]. Габаевым А. Х. при обосновании работы заделывающих рабочих органов ротационного типа особое внимание уделено изучению бороздообразующих накладок на рабочей (скользящей) части выравнивателя [7].

При разработке комбинированного почвообрабатывающего технического средства, работающего в условиях ветровой эрозии с сохранением стернового фона и минимального образования эрозионно-опасных частиц, были исключены ротационные зубчатые диски. Их основной функцией являлось выравнивание поверхности и создание мульчированного слоя, при этом происходило полное разрушение стернового фона и формировались эрозионно-опасные частицы [8, 9]. Данные рабочие органы были заменены на упругие выравниватели в виде полозовидных загортачей (рисунок 1).

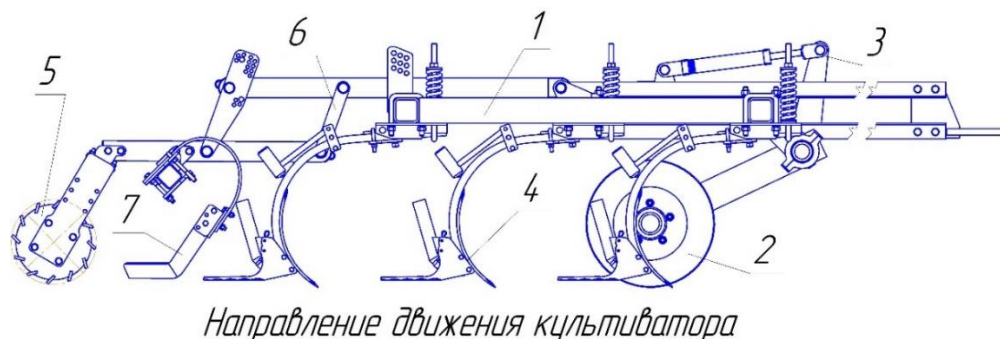


Рисунок 1 – Общий вид комбинированного почвообрабатывающего технического средства: 1 – рама; 2 – колеса; 3 – механизм регулировки глубины обработки; 4 – рыхлительные рабочие органы; 5 – секции катка; 6 – двухбалочная параллелограммная рама; 7 – секция выравнивателей на упругих стойках

Использование секции упругих выравнивателей в конструкции комбинированного почвообрабатывающего технического средства позволяет повысить качество крошения и выравнивания микрорельефа благодаря равномерному распределению почвенных агрегатов по всей его ширине захвата перед секцией катков [10].

Цель исследований – теоретически обосновать основные конструктивные параметры рабочих органов упругих выравнивателей.

Материалы и методы исследований

Теоретические исследования проведены в отделе механизации производства и разработки новых образцов оборудования ФГБУН «НИИСХ Крыма» в 2022 г. При обосновании параметров рабочих органов упругих выравнивателей использовались основные положения теоретической механики, теории колебаний и удара, движения тела по фрикционной плоскости, о механическом подобии земледельческой механики.

Результаты и их обсуждение

В процессе культивации, кроме образования гребнистой поверхности происходит вспушивание почвы и возрастает толщина взрыхленного слоя на величину Δh :

$$\Delta h = H - h_{\text{обр}} = h_{\text{обр}}(k_{\text{вс}} - 1), \quad (1)$$

где $h_{\text{обр}}$ – установленная глубина обработки;

H – фактическая глубина обработки;

$k_{\text{вс}}$ – коэффициент вспушенности почвы, $k_{\text{вс}} = 1,15$.

Установка выравнивателей должна производиться на расстоянии равном Δh относительно уровня необработанной поверхности поля, в этом случае будет обеспечиваться равенство объемов почвы в срезаемых вершинах гребней и пустот впадин и только в этом случае может быть достигнуто равномерное распределение почвенной массы по всей рабочей ширине захвата агрегата.

В соответствии с расчетной схемой, представленной на рисунке 2, и с учетом формулы (1) высота срезаемой верхней части гребня $h_{\text{гр.ср.}}$ составит:

$$h_{\text{гр.ср.}} = h_{\text{гр}} - \Delta h = k_{\text{гр}} H_{\text{гр}} - h_{\text{обр}}(k_{\text{вс}} - 1), \quad (2)$$

где $h_{\text{гр}}$ – высота гребней;

$k_{\text{гр}}$ – коэффициент гребнистости, $k_{\text{гр}} = h_{\text{гр}}/H_{\text{гр}}$;

$H_{\text{гр}}$ – гребнистость почвы.

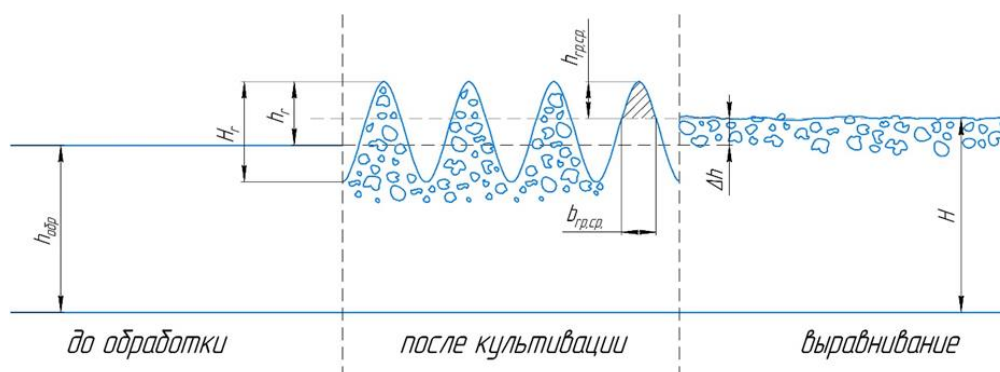


Рисунок 2 – Расчетная схема к обоснованию высоты срезаемой верхней части гребня $h_{\text{гр.ср.}}$

Принимая в первом приближении форму поперечного сечения срезаемого почвенного гребня в виде равнобедренного треугольника найдем его площадь:

$$S_{гр.ср.} = \frac{1}{2} h_{гр.ср.} \cdot b_{гр.ср.} \quad (3)$$

Ширина основания срезаемой части гребня $b_{гр.ср.}$ составит:

$$b_{гр.ср.} = \frac{h_{гр.ср.}}{tg\varphi_2}, \quad (4)$$

где φ_2 – угол при основании равнобедренного треугольника, равный углу внутреннего трения почвы.

Преобразовав формулу (3) с учетом зависимостей (2) и (4), получим итоговую зависимость для определения площади поперечного сечения срезаемой части гребня:

$$S_{гр.ср.} = \frac{[k_{гр}H_{гр} - h_{обп}(k_{вс} - 1)]^2}{2tg\varphi_2}. \quad (5)$$

Равномерное распределение почвы по всей ширине зоны обработки будет достигаться в том случае, когда сгуживание почвы перед рабочими органами выравнителя отсутствует. В соответствии с расчетной схемой на рисунке 3 условие беспрепятственного схода комка почвы по крылу выравнителя, установленному под углом γ к направлению движения, будет иметь вид:

$$F_d \cos\gamma > F_{тр}, \quad (6)$$

где F_d – сила давления комка почвы на рабочую поверхность крыла выравнителя;

$F_{тр}$ – сила трения почвы о поверхность рабочего органа.

Принимая во внимание, что $F_{тр} = fN = fF_d \sin\gamma$, из формулы (6) получим следующее выражение для предельного значения угла раствора крыльев выравнителя:

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - arctg(f), \quad (7)$$

где f – коэффициент трения почвы о поверхность крыла.

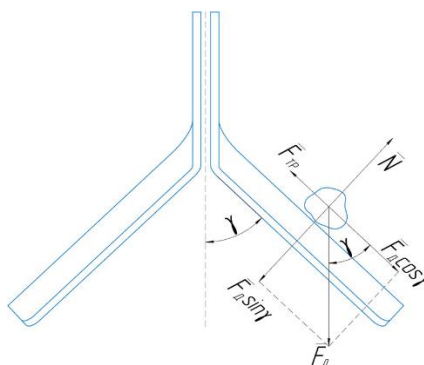


Рисунок 3 – Расчетная схема к обоснованию угла раствора крыльев выравнителя

Чтобы расширить диапазон почвенных условий, на которых возможна работа данных рабочих органов выравнителя, учтем, что при обработке почв повышенной влажности при налипании происходит трение почвы о почву. Поэтому, в качестве расчётного значения коэффициента трения f следует использовать коэффициент внутреннего трения почвы $f = tg\varphi_2$. В результате расчетов получаем предельное значение угла $\gamma = 51,3^\circ$ и округляем его до 50° . Таким образом, угол раствора крыльев выравнителя составит 100° .

На схеме (рисунок 4) показано двухрядное расположение рабочих органов стерневого культиватора, после прохода которых вершины образуемых гребней будут располагаться в зоне перекрытия крыльев стрелчатых лап, а расположение впадин будет совпадать с траекторией прохода стоек культиваторных лап.

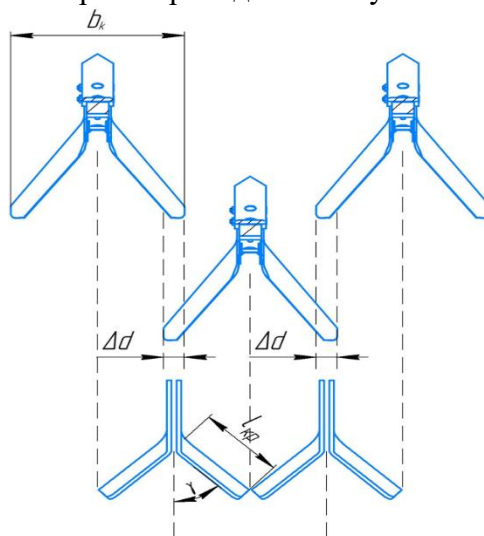


Рисунок 4 – Схема расположения рабочих органов выравнителя

Рациональное значение ширины захвата крыла рабочего органа выравнителя равно:

$$b_{кр} = \frac{b_k - \Delta d}{2} + \Delta b, \quad (8)$$

где b_k – ширина захвата культиваторной лапы;

Δd – перекрытие культиваторных лап, $\Delta d = 0,05$ м;

Δb – величина бокового смещения вершин формируемых при культивации гребней, $\Delta b = 0,03$ м.

Длина крыла выравнителя:

$$l_{кр} = \frac{b_{кр}}{\sin \gamma}. \quad (9)$$

Для обоснования угла наклона крыла α воспользуемся расчетной схемой, изображенной на рисунке 5, и рассмотрим процесс движения почвы по крылу выравнителя в вертикальной плоскости.

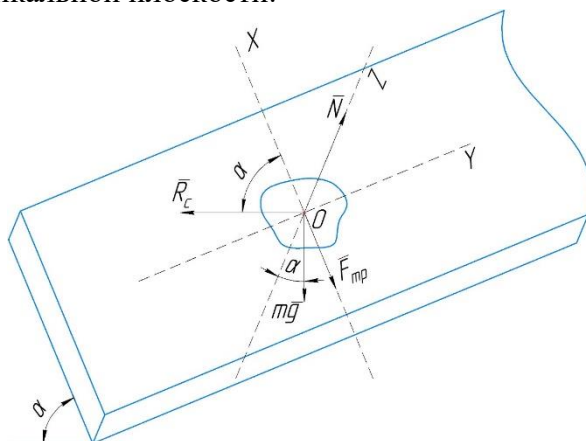


Рисунок 5 – Расчетная схема к обоснованию угла наклона крыла выравнителя α

Спроецируем действующие силы на оси OX и OZ пространственной прямоугольной системы координат XYZ и получим следующие уравнения движения:

$$R_c \cos \alpha - mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = ma, \quad (10)$$

$$N - R_c \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0. \quad (11)$$

Принимая во внимание, что $F_{\text{тр}} = fN$, получим решение системы уравнений 10–11 относительно угла α в следующем виде:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R_c - fmg}{mg + fR_c}. \quad (12)$$

Величину силы сопротивления R_c , зависящую от геометрических размеров призмы волочения, образующейся перед рабочим органом, представим в виде $R_c = kmg$, где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от физико-механических свойств взрыхленной почвы, геометрических характеристик рабочего органа и скорости выравнителя.

С учетом вышеизложенного, выражение (12) можно записать в виде:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{k-f}{k+f} \right). \quad (13)$$

Анализируя выражение (13) отметим, что при возрастании коэффициента пропорциональности k искомый угол α будет стремиться к предельному значению 45° , выше которого скольжение почвы вверх по крылу прекращается.

Запишем условие не пересыпания почвы через крыло рабочего органа:

$$\Delta h + h_{\text{кр}} \cdot \sin \alpha \geq H_{\text{Г}}^{\max}. \quad (14)$$

Откуда получим рациональное значение угла наклона крыла α :

$$\alpha = \operatorname{arcsin} \left(\frac{H_{\text{Г}}^{\max} - h_{\text{обр}}(k_{\text{вс}} - 1)}{h_{\text{кр}}} \right). \quad (15)$$

Энергоемкость процесса выравнивания почвы будет зависеть от рельефа поверхности поля, образованного в результате предшествующей операции, геометрических характеристик выравнивающих рабочих органов и выбранного режима обработки.

Применим закон сохранения импульса для блока почвы массой m перемещаемого рабочим органом:

$$(F_{\text{вырав}} - F_{\text{сопр}}) \cdot \Delta t = m_{\text{почвы}} \cdot (V_{\text{кон}} - V_0), \quad (16)$$

где $F_{\text{вырав}}$ – усилие, воздействующее на срезаемый гребень со стороны рабочего органа выравнителя;

$F_{\text{сопр}}$ – сила сопротивления, возникающая при перемещении гребней во впадины.

Принимая во внимание, что начальная скорость почвы $V_0 = 0$, а значение конечной скорости, перед сходом с рабочего органа, приближается к значению рабочей скорости почвообрабатывающего агрегата $V_{\text{кон}} \approx V_{\text{раб}}$, и учитывая, что $\Delta t = \frac{L_{\text{эф.}}}{V_{\text{раб}}}$, а масса $m_{\text{почвы}} = \rho \cdot S_{\text{гр.ср.}} \cdot L_{\text{эф.}}$, преобразуем выражение (16) к следующему виду:

$$F_{\text{вырав}} = F_{\text{сопр}} + \rho \cdot S_{\text{гр.ср.}} \cdot V_{\text{раб}}^2. \quad (17)$$

Сила сопротивления почвенной массы обусловлена в значительной степени трением между частицами почвы $F_{\text{сопр}} \approx f \cdot N = f \cdot m_{\text{почвы}} \cdot g$.

После преобразований, из выражения (17) с учетом формулы (5) получим выражение для определения тягового сопротивления одного рабочего органа выравнителя:

$$F_{\text{вырав}} = \rho \cdot \frac{[k_{\text{гр}} H_{\text{гр}} - h_{\text{обр}}(k_{\text{вс}} - 1)]^2}{2tg\varphi_2} \cdot (f \cdot g \cdot L_{\text{эф.}} + V_{\text{раб}}^2), \quad (18)$$

где $L_{\text{эф.}}$ – эффективная длина перемещаемого рабочим органом блока почвы,

$$L_{\text{эф.}} = \frac{h_{\text{гр.ср.}}}{tg\varphi_2} \cdot \cos \gamma;$$

g – ускорение свободного падения.

Как показал анализ теоретической зависимости (18), наиболее существенное влияние на тяговое сопротивление оказывает показатель гребнистости $H_{гр}$ и величина рабочей скорости обработки $V_{раб}$ (рисунок 6).

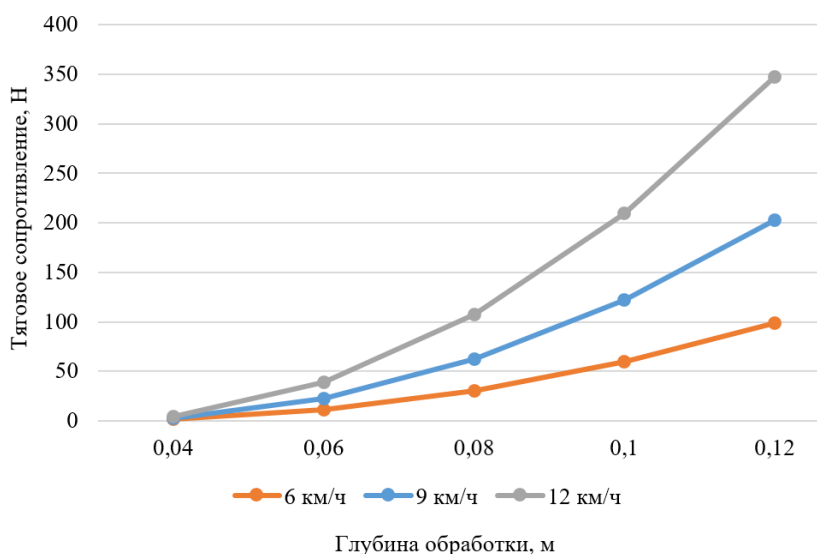


Рисунок 6 – Теоретическая зависимость тягового сопротивления выравнителя от гребнистости почвы

Выводы

На основании предложенной схемы расстановки обоснованы основные геометрические параметры рабочих органов секции выравнителей почвы в составе комбинированного почвообрабатывающего технического средства. С учетом физико-механических свойств почвы и режимов обработки получены теоретические зависимости для определения высоты установки выравнителей Δh , угла раствора крыльев γ , длины крыла $l_{кр}$ и угла наклона крыла выравнителя α . Анализ полученной теоретической зависимости для тягового сопротивления показал, что наиболее существенное влияние на технологический процесс оказывает показатель гребнистости $H_{гр}$ и величина рабочей скорости $V_{раб}$. При работе на скоростях 10–12 км/ч и при показателе гребнистости 0,1 м значение тягового сопротивления секции выравнителей составит около 200 Н.

Литература

1. Никифоров М. В., Голубев В. В. Выравнитель почвы для возделывания льна-долгунца // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 3 (32). С. 141–145.
2. Шапарь М. С., Шишлов А. Н. К обоснованию кинематических параметров движения шпору виброкатка // Материалы Межвузовской научно-практической конференции «Молодые учёные – агропромышленному комплексу Дальнего Востока» и 48-й студенческой научной конференции. Вып. 12. Уссурийск: Приморский ГСХА, 2012. С. 22–25.
3. Fontes F. P. Soil and water conservation technology adoption and labour allocation: evidence from Ethiopia // World Development. 2020. Vol. 127. Art. No. 104754. DOI: 10.1016/j.worlddev.2019.104754.
4. Hofbauer M., Bloch R., Bachinger J., Gerke H. H. Effects of shallow non-inversion tillage on sandy loam soil properties and winter rye yield in organic farming // Soil and Tillage Research. 2022. Vol. 222. Art. No. 105435. DOI:10.1016/j.still.2022.105435.
5. Aikins K. A., Antille D. L., Ucgul M., Barr J. B., Jensen T. A., Desbiolles J. M. A. Analysis of effects of operating speed and depth on bentleg opener performance in cohesive soil using the discrete element method // Computers and Electronics in Agriculture. 2021. Vol. 187. Art. No. 106236. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106236.

6. Горячкин В. П. Собрание сочинений в 3-х томах. Т. 2. М.: Колос, 1965. 459 с.
7. Габаев А. Х., Каскулов М. Х. Определение сил сопротивления резанию лезвия бороздообразующего катка // Известия КБГАУ. 2014. № 3. С. 88–91.
8. Патент № 206913 РФ «Выравниватель почвы» // Авторы: Соболевский И. В., Бабицкий Л. Ф., Паштецкий В. С., Калафатов И. И. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». 30.09.2021. Бюл. № 28. 6 с.
9. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А. Теоретические предпосылки к бионическому обоснованию параметров рабочих органов пружинного выравнивателя почвы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20. № 1. С. 48–56. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.48-56.
10. Заявка №2023100866/10(001691) РФ «Комбинированный культиватор» // Авторы: Соболевский И. В., Калафатов И. И., Куклин В. А. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (RU); дата подачи 16.01.2023. 1 с.

References

1. Nikiforov M. V., Golubev V. V. Soil leveler for flax cultivation // Vestnik VIESH. 2018. No. 3 (32). P. 141–145.
2. Shapar M. S., Shishlov A. N. To substantiate the kinematic parameters of the movement of the spur of the vibratory roller // Proceedings of the Interuniversity scientific and practical conference “Young scientists – the agro-industrial complex of the Far East” and the 48th student scientific conference. Iss. 12. Ussuriysk: Primorskaya State Agricultural Academy, 2012. P. 22–25.
3. Fontes F. P. Soil and water conservation technology adoption and labor allocation: evidence from Ethiopia // World Development. 2020. Vol. 127. Art. No. 104754. DOI: 10.1016/j.worlddev.2019.104754.
4. Hofbauer M., Bloch R., Bachinger J., Gerke H. H. Effects of shallow non-inversion tillage on sandy loam soil properties and winter rye yield in organic farming // Soil and Tillage Research. 2022. Vol. 222. Art. No. 105435. DOI:10.1016/j.still.2022.105435.
5. Aikins K. A., Antille D. L., Ucgul M., Barr J. B., Jensen T. A., Desbiolles J. M. A. Analysis of effects of operating speed and depth on bentleg opener performance in cohesive soil using the discrete element method // Computers and Electronics in Agriculture. 2021. Vol. 187. Art. No. 106236. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106236.
6. Goryachkin V. P. Collected works in 3 volumes. Vol. 2. Moscow: Kolos, 1965. 459 p.
7. Gabaev A. Kh., Kaskulov M. Kh. Determination of the forces of cutting resistance cutting blades furrowforming rink // Izvestia of KBSAU. 2014. No. 3. P. 88–91.
8. Patent RF No. 206913. Soil leveler // Authors: Sobolevsky I. V., Babitsky L. F., Pashtetsky V. S., Kalafatov I. I. Patentee: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. 30.09.2021. Bull. No. 28. 6 p.
9. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Theoretical prerequisites for the bionic substantiation of spring soil leveler working bodies parameters // Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East. 2019. Vol. 20. No. 1. P. 48-56. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.48-56.
10. Application No. 2023100866/10(001691) RF “Combined cultivator” // Authors: Sobolevsky I.V., Kalafatov I.I., Kuklin V.A. Patentee: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea” (RU); date of filing: 16.01.2023. 1 p.

UDC 631.319

Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Kalafatov I. I.

JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS OF WORKING BODIES OF THE LEVELER FOR STUBBLE CULTIVATOR

Summary. In modern agriculture, one of the main tasks in tilling the land before planting is to level the surface of the fields. An optimally leveled field surface enables 64 to 72 % of the seeds to be sown to the required depth, while non-leveled one reduces this figure to 29–35 %. The use of a section of elastic levelers in the design of a combined soil-cultivating technical tool makes it possible to improve the quality of crushing and leveling the micro relief due to the uniform distribution of soil aggregates over its entire working width in front of the roller section. The purpose of the research was to theoretically substantiate the main design parameters of the working bodies of elastic levelers. Theoretical studies were carried out in 2022 at the Department of Mechanization of Production and Development of New Types of Equipment (FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”). The basic principles of theoretical mechanics, theory of vibrations and impact, theory of motion of a body on a

friction plane and theory of mechanical similarity of agricultural mechanics were used to justify the parameters of elastic levelers. For the proposed design of the section of elastic levelers, in relation to loosening working bodies, taking into account physical and mechanical properties of the soil and the modes of its processing, theoretical dependencies were obtained to determine the installation height of the levelers Δh , the opening angle of the wings γ , the length of the wing l_{len} and the angle of inclination of the leveler wing α . An analysis of the obtained theoretical dependence for traction resistance showed that the most significant influence on the technological process is provided by the ridge index H_{rid} and the value of the operating speed V_{work} . When operating speed is equal to 10–12 km/h and ridge index reaches 0.1 m, the value of the traction resistance of the section of levelers will be about 200 N.

Keywords: rowing, stubble cultivator, working body of the leveler, 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.

Куклин Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»; 295007, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Вернадского, 4; e-mail: kuklin-va@mail.ru.

Калафатов Ильяс Идрисович, заведующий лабораторией основ сельскохозяйственной агроинженерии, 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.

Kuklin Vladimir Alekseevich, Cand. Sc. (Techn.), associate professor of the Department of technical systems in agribusiness, V.I. Vernadsky Crimean Federal University; 4, Prospekt Vernadskogo, Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russia; e-mail: kuklin-va@mail.ru.

Kalafatov Ilyas Idrisovich, head of the Laboratory of fundamentals of agricultural agroengineering, 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 – 20.01.2023.

Дата принятия к печати – 03.03.2023.

УДК 633.81:57.085.2

DOI: 10.5281/zenodo.7898524

EDN HRKDCJ

Тевфик А. Ш., Егорова Н. А., Коваленко М. С.

**ВЛИЯНИЕ ЛИМИТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА РАЗВИТИЕ ЭКСПЛАНТОВ
THYMUS SERPYLLUM L. И *THYMUS CAUCASICUS WILLD.* НА ПЕРВОМ
ЭТАПЕ МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ *IN VITRO***

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Внимание исследователей давно привлекают представители рода *Thymus*, которые широко используют в фармацевтическом, косметологическом производстве и кулинарии. Решение многих проблем селекции растений невозможно без привлечения биотехнологических методов. Цель исследования – изучение влияния гормонального состава питательной среды, типа экспланта и условий культивирования на развитие эксплантов на первом этапе клонального микроразмножения *Thymus serpyllum L.* и *Thymus caucasicus Willd. in vitro*. В качестве эксплантов использовали сегменты стебля с узлом или верхушки побегов. В статье представлены результаты анализа морфометрических параметров эксплантов при культивировании на 11-ти вариантах питательной среды Мурасиге и Скуга (МС) с добавлением кинетина, тидиазурона, 6-бензиламинопурина (БАП), гибберелловой кислоты и индолилуксусной кислоты. При культивировании этих типов эксплантов не выявлено существенных различий большинства анализируемых показателей. При сравнении различных регуляторов роста выявлено, что максимальное количество побегов было при использовании питательных сред, содержащих БАП, а максимальная длина побегов – на средах с добавлением кинетина. Установлено, что наиболее эффективной питательной средой на этапе введения эксплантов в культуру *in vitro* у *T. caucasicus* является МС, дополненная 1,0 мг/л кинетина, а для *T. serpyllum* – МС с 1,0 мг/л БАП. Показано, что культивирование эксплантов в пробирках, закрытых фольгой, способствовало увеличению коэффициента размножения до 1,4 раза по сравнению с пробирками с ватно-марлевыми пробками. Четырехфакторный дисперсионный анализ показал, что наибольшее влияние на количество и длину побегов при микроразмножении оказывал состав питательной среды (доля влияния – 48,2 и 52,6 % соответственно). При оптимальном сочетании изученных факторов коэффициент размножения на этапе введения в культуру *in vitro* у изученных видов составил 9,2–10,4. Результаты исследований являются основой для разработки методики клонального микроразмножения *T. serpyllum* и *T. caucasicus*.

Ключевые слова: тимьян ползучий (*Thymus serpyllum L.*), тимьян кавказский (*Thymus caucasicus Willd.*), клональное микроразмножение *in vitro*, питательная среда, регуляторы роста, эксплант.

Для цитирования: Тевфик А. Ш., Егорова Н. А., Коваленко М. С. Влияние лимитирующих факторов на развитие эксплантов *Thymus serpyllum L.* и *Thymus caucasicus Willd.* на первом этапе микроразмножения *in vitro* // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 113–124. DOI: 10.5281/zenodo.7898524. EDN: HRKDCJ.

For citation: Teyfik A .Sh., Yegorova N. A., Kovalenko M. S. Influence of limiting factors on the development of *Thymus serpyllum L.* and *Thymus caucasicus Willd.* explants at the first stage of micropropagation *in vitro* // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(33). P. 113–124. DOI: 10.5281/zenodo.7898524. EDN: HRKDCJ.

Введение

Тимьян (*Thymus*) – многолетний полукустарник из семейства Яснотковые (*Lamiaceae*), сотни лет назад получивший широкое признание в народной медицине. В Древней Греции и Риме тимьян считался символом силы и мужества. С появлением монастырей это растение стало одной из популярнейших культур в монастырских садах. Ареал обитания разных видов тимьяна очень широк – это страны Средиземноморья и Скандинавии, Германия, Молдова, Украина и др. В России тимьян встречается в средней полосе европейской части, на Урале, в Сибири [1, 2].

Растительное сырье тимьяна содержит много биологически активных веществ – эфирного масла, смол, дубильных веществ, флавоноидов и др. Биологическая активность разных видов рода *Thymus* связана, прежде всего, с присутствием фенольных соединений. Так, антимикробное, противовоспалительное, антигельминтное, антиоксидантное, спазмолитическое и ранозаживляющее свойства обусловлены высоким содержанием карвакрола и тимола [3, 4]. Препараты тимьяна используют в качестве антисептических средств для полости рта, при заболеваниях верхних дыхательных путей и бронхитах, при гастритах, колитах, спазмах кишечника, при невралгии и неврозах различной этиологии. В виде мазей, примочек и компрессов препараты из сырья тимьяна применяют при болях в суставах, ревматизме, различных кожных заболеваниях и укусах насекомых [5–8]. Препараты из сырья тимьяна также эффективны при воспалительных процессах, усугубляемых патогенной микрофлорой, нечувствительной к антибиотикам [9, 10]. Тимьян ползучий включен в фармакопеи многих стран, в том числе и России [1, 2].

Вегетативное размножение многих видов растений, в том числе и ценных сельскохозяйственных культур, нередко сопровождается накоплением и передачей грибной, бактериальной и вирусной инфекции. Кроме того, к недостаткам этого метода можно отнести трудоемкость и сезонность производства, что приводит порой к невозможности получения достаточного количества посадочного материала. Поэтому селекционеры нередко прибегают к биотехнологическому методу клонального микроразмножения, позволяющему увеличить коэффициент размножения культур, снизить энергоемкость, проводить исследования круглый год, что в результате способствует значительному ускорению селекционного процесса [11, 12]. При анализе доступных литературных данных по изучению тимьяна в культуре *in vitro* выявлено, что большинство публикаций касаются видов, которые не произрастают в России. Кроме того, ряд исследователей используют в качестве исходных эксплантов проростки, развившиеся из семян *in vitro* [13–17], что не позволяет получить идентичный родительским формам растительный материал. В других работах микроразмножение разных видов тимьяна включает стадию каллусогенеза *in vitro*: *T. persicus* [18], *T. vulgaris* [19], *T. syriacus*, *T. majorana*, *T. incanus*, *T. fruticosus*, *T. capitatus* [20], что не исключает появление измененных соматоклональных вариантов. Изучению особенностей реализации морфогенетического потенциала тимьяна ползучего в культуре *in vitro* посвящены лишь единичные работы [17, 21]. Сведений о клональном микроразмножении тимьяна кавказского в доступных научных публикациях не выявлено.

Поэтому **цель исследований** – изучение влияния гормонального состава питательной среды, типа экспланта и условий культивирования на развитие эксплантов на первом этапе клонального микроразмножения *Thymus serpyllum* L. и *Thymus caucasicus* Willd. *in vitro*.

Материалы и методы исследований

Материалом служили ткани и органы тимьяна ползучего (*Thymus serpyllum* L.) и тимьяна кавказского (*Thymus caucasicus* Willd.). Исходные донорные

растения выращивали в условиях закрытого грунта. Растения *T. serpyllum* были получены из коллекции генофонда пряноароматических, эфиромасличных и лекарственных растений ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (УНУ №507515), а *T. caucasicus* – из коллекции Южно-Уральского ботанического сада-института – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр РАН».

В работе использовали общепринятые методы культуры органов и тканей растений [22], а также разработанные для некоторых видов эфиромасличных растений [23, 24]. Для стерилизации растительного материала применяли следующие антисептики: «Фармасепт» – 96 % C_2H_5OH («Виват», Украина) и «Дез Таб» – 43 % $C_3O_3N_3Cl_3$, 20 % $NaC_3O_3N_3Cl_2$ («Ахлор Донге ЛТД», КНР). В качестве эксплантов использовали сегменты стебля с одним узлом или верхушки побегов (8–10 мм). Экспланты культивировали на различных модификациях питательной среды Мурасиге и Скуга (МС) [25] с добавлением тидиазурона (ТДЗ), гибберелловой кислоты (ГК₃), кинетина (кин.), 6-бензиламинопурина (БАП) и индолилуксусной кислоты (ИУК) (Sigma, США) в пробирках, закрытых фольгой или ватно-марлевыми пробками. В пробирки с 10 мл питательной среды помещали два экспланта. Культивирование проводили при температуре 24–26 °С, относительной влажности воздуха 70 % и освещенности 2–3 тысячи люкс с фотопериодом 16 часов. Анализ морфометрических параметров развивающихся эксплантов проводили на 35–40 сутки культивирования. При этом определяли количество жизнеспособных и развивающихся эксплантов, количество и длину побегов, количество узлов на побег, частоту витрификации. Коэффициент размножения рассчитывали как произведение количества побегов (на эксплант) на число узлов на побеге. В каждом варианте опыта анализировали не менее 20 эксплантов, повторность опыта – двух-трехкратная. Статистическую обработку данных проводили согласно стандартным методам [26] с использованием пакета программ Microsoft Office (Excel 2010).

Результаты и их обсуждение

Основным условием при введении первичных эксплантов в культуру *in vitro* является подбор стерилизующего вещества, которое должно не только освободить органы и ткани от контаминации, но и способствовать максимальному сохранению жизнеспособности клеток растения. Литературные данные о получении асептической культуры эксплантов тимьяна весьма противоречивы относительно типов, концентраций и экспозиций стерилизующих агентов [18, 20].

Для оптимизации условий получения асептической культуры тимьяна проведен анализ 17 вариантов режимов стерилизации растительного материала с применением разных концентраций и сочетаний препаратов «Фармасепт» и «Дез Таб». Лучший результат выявлен при последовательном использовании 70 % «Фармасепта» (40 сек.) и 0,3 % раствора препарата «ДезТаб» (10 мин.). Такая схема стерилизации позволила получить максимальное количество стерильных (87,3–94,2 %) и жизнеспособных развивающихся эксплантов (78,1–87,5 %).

Через две–три недели культивирования после введения *in vitro* у эксплантов (сегментов стебля с одним узлом) наблюдали развитие основного и пазушных побегов. У *T. caucasicus* и *T. serpyllum* уже на первом этапе клонального микроразмножения отмечали образование адвентивных почек и побегов (рисунок 1).

При клональном микроразмножении на реализацию морфогенетического потенциала эксплантов в культуре *in vitro* влияют многие факторы, одним из которых является гормональный состав питательной среды. С целью изучения зависимости морфометрических показателей развития эксплантов от состава регуляторов роста их культивировали на питательной среде МС с добавлением ТДЗ, кинетина, БАП, ГК₃ и ИУК. Выбор анализируемых сред основан на наших предыдущих исследованиях *T. vulgaris* [27].

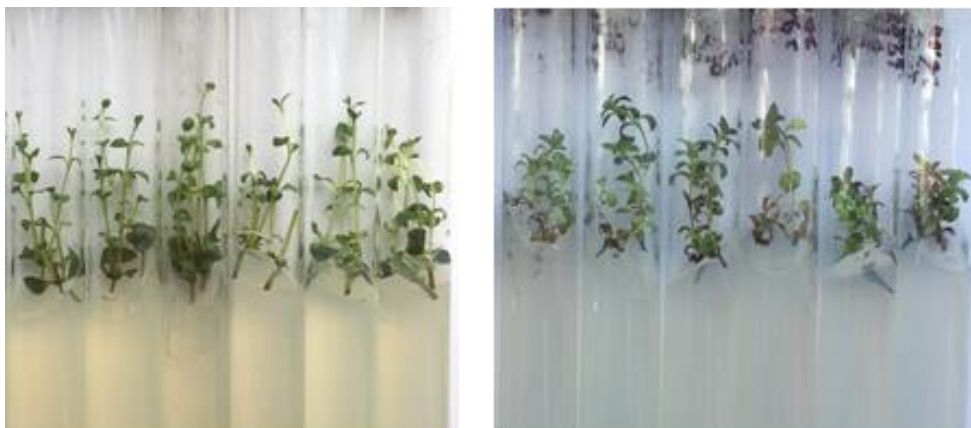


Рисунок 1 – Микропобеги *Thymus caucasicus* (слева) и *Thymus serpyllum* (справа) при микроразмножении *in vitro*

При анализе развития эксплантов на 11-ти модификациях питательной среды МС выявлено, что при культивировании тимьяна ползучего на средах с БАП формировалось большее количество микропобегов на эксплант (3,7–7,3 шт./эксплант) по сравнению со средами с кинетином или ТДЗ (1,8–2,5 шт./эксплант) (рисунок 2). В то же время у *T. caucasicus* на большинстве питательных сред отметили лишь тенденцию повышения данного параметра на средах с БАП. Следует отметить, что добавление ГК₃ в питательную среду с БАП позволило получить у *T. serpyllum* максимальное количество побегов на эксплант, однако часть микропобегов (31,2 %) была витрифицированной. Подобная тенденция к увеличению количества микропобегов при использовании БАП отмечена и у эксплантов *T. caucasicus*.

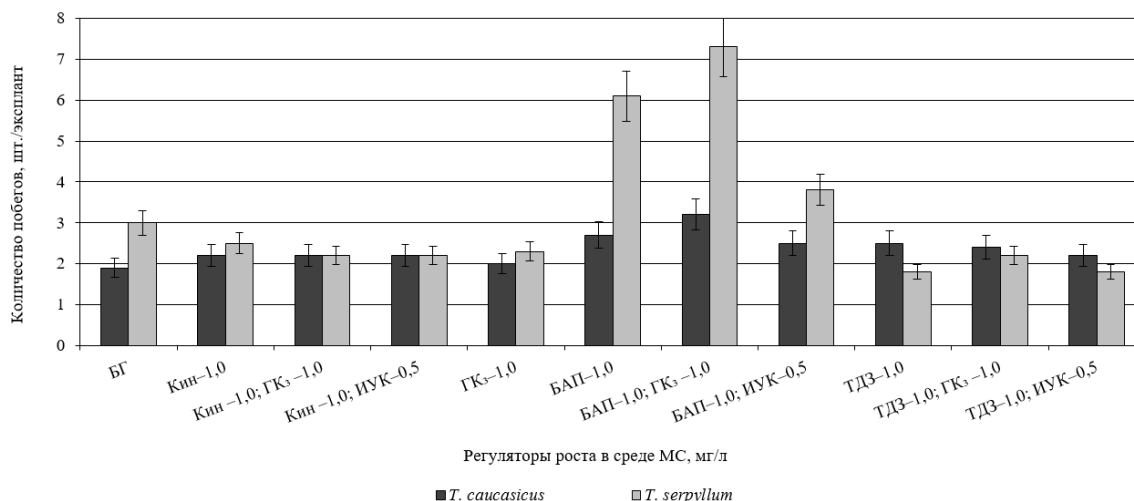


Рисунок 2 – Влияние гормонального состава питательной среды и генотипа на количество побегов на этапе введения тимьяна в культуру *in vitro*

При анализе длины развивающихся из эксплантов побегов выявлены существенные различия в зависимости от состава регуляторов роста в питательной среде (рисунок 3).

Так, при использовании в питательной среде МС в качестве цитокинина кинетина отметили увеличение длины эксплантов у тимьяна кавказского (в 1,7–7,0 раза) и тимьяна ползучего (в 1,6–5,3 раза) по сравнению с другими

модификациями среды МС. Аналогичные результаты получены при сравнении влияния регуляторов роста на количество узлов на побеге (рисунок 4).

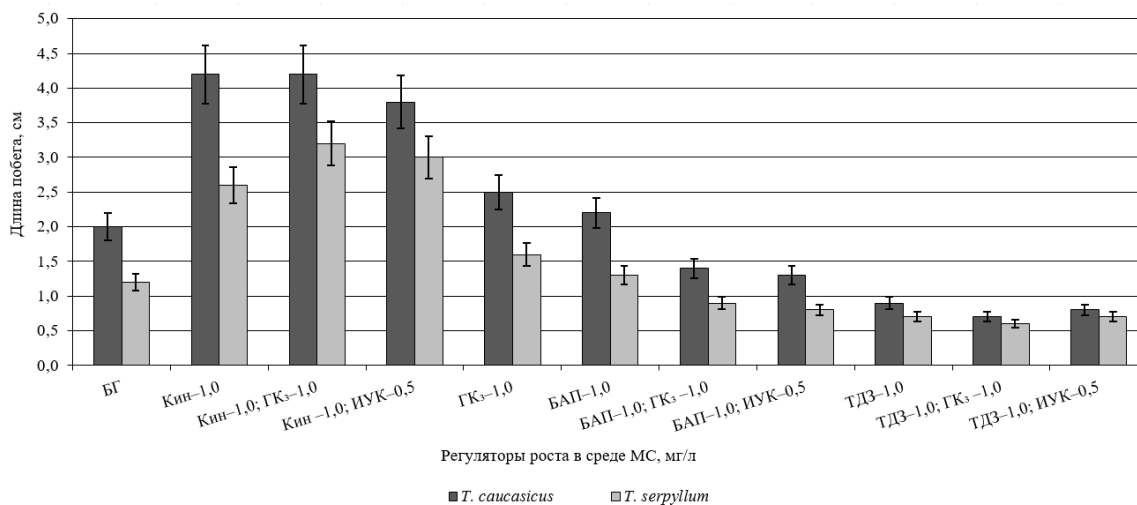


Рисунок 3 – Влияние гормонального состава питательной среды и генотипа на длину микропобегов тимьяна на этапе введения в культуру *in vitro*

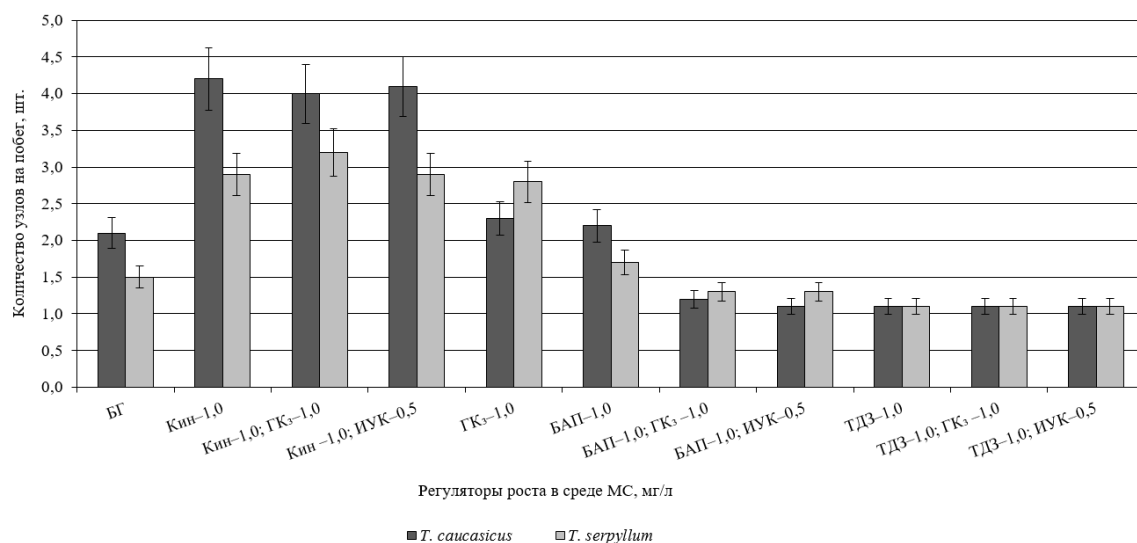


Рисунок 4 – Влияние гормонального состава питательной среды и генотипа на количество узлов (на побег) на этапе введения тимьяна в культуру *in vitro*

Анализ изменения важнейшего параметра при микроразмножении *in vitro* – коэффициента размножения в зависимости от гормонального состава питательной среды (рисунок 5) показал, что использование ТДЗ при введении в культуру *in vitro* эксплантов *T. caucasicus* и *T. serpyllum* нецелесообразно. На средах с этим регулятором роста отмечен минимальный коэффициент размножения (2,0–2,8). При культивировании *T. caucasicus* на питательных средах МС с 1,0 мг/л кинетина или с 1,0 мг/л кинетина и 1,0 мг/л ГК₃ или 0,5 мг/л ИУК коэффициенты размножения достоверно не отличались. Поэтому для данного вида целесообразно использовать среду более простого состава – МС с 1,0 мг/л кинетина, на которой коэффициент размножения достигал 9,2. У *T. serpyllum* максимальный коэффициент размножения (10,4) получен на питательной среде МС с другим цитокинином – 1,0 мг/л БАП.

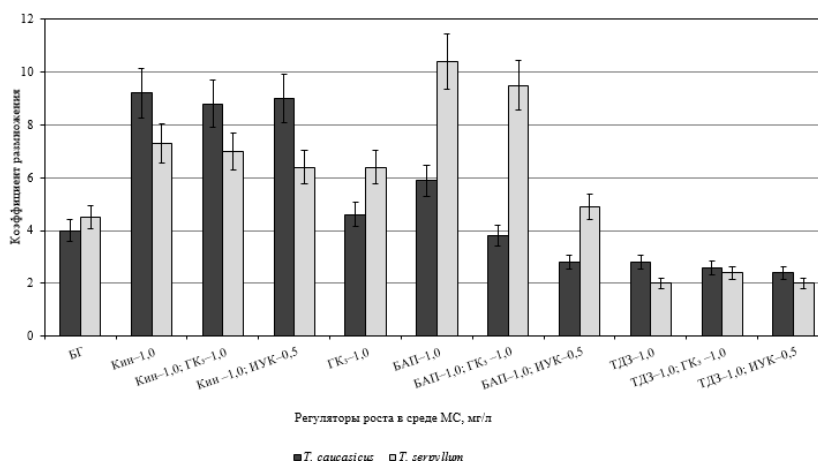


Рисунок 5 – Влияние гормонального состава питательной среды и генотипа на коэффициент размножения двух видов тимьяна на этапе введения в культуру *in vitro*

Изучение влияния генотипа на морфометрические показатели при микроразмножении показало, что наибольшее количество побегов, особенно на средах с БАП, было у *T. serpyllum* (1,8–7,3 шт./эксплант) (см. рисунок 2). При сравнении длины побегов была выявлена иная тенденция. В зависимости от состава питательной среды этот показатель был выше в 1,2–4,2 раза у *T. caucasicus* по сравнению у *T. serpyllum* (см. рисунок 3). Сравнение коэффициентов размножения у изученных видов тимьяна достаточно проблематично, так как для эффективного развития эксплантов необходимы различные цитокинины. Например, на средах с добавлением БАП этот параметр выше у *T. serpyllum* (в 1,8–2,5 раза), тогда как на средах с кинетином, наоборот, коэффициент размножения выше у *T. caucasicus* (в 1,3–1,4 раза). Тем не менее, на оптимальных питательных средах коэффициенты размножения у двух изученных видов достоверно не отличались и достигали: у *T. caucasicus* – 9,2, а у *T. serpyllum* – 10,4 (см. рисунок 5).

При анализе влияния типа экспланта на морфометрические показатели микропобегов на этапе введения в асептическую культуру у двух изученных видов тимьяна не выявлено существенных различий (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние типа экспланта и генотипа на развитие эксплантов на этапе введения тимьяна в культуру *in vitro* (среда МС с 1,0 мг/л кинетина и 1,0 мг/л ГКз)

Параметр	<i>T. caucasicus</i>		<i>T. serpyllum</i>	
	верхушка побега	сегмент стебля с узлом	верхушка побега	сегмент стебля с узлом
Количество побегов, шт. на эксплант	1,7 ± 0,1	2,2 ± 0,1	2,7 ± 0,3	2,2 ± 0,2
Количество узлов, шт. на побег	4,0 ± 0,3	3,7 ± 0,2	2,2 ± 0,2	3,2 ± 0,2
Длина микропобега, см	4,5 ± 0,3	4,3 ± 0,3	1,8 ± 0,1	2,9 ± 0,2
Коэффициент размножения	6,8 ± 0,5	8,1 ± 0,7	5,9 ± 0,6	7,0 ± 0,6

Вместе с тем, у *T. serpyllum* отметили достоверное увеличение длины побега и количества узлов на побег при использовании в качестве эксплантов сегментов стебля с одним узлом. Сравнение коэффициента размножения при использовании

разных типов эксплантов не выявило достоверных различий. Поэтому для клонального микроразмножения *T. caucasicus* и *T. serpyllum* целесообразно использовать как верхушки побегов, так и сегменты стебля с узлом, что позволяет получить больше эксплантов с одного растения и быстрее размножить ценные образцы.

При оптимизации условий культивирования в процессе клонального микроразмножения важно подобрать тип культурального сосуда, а иногда и тип пробки. С целью изучения влияния условий культивирования на этапе введения в культуру *in vitro* экспланты тимьяна помещали на питательные среды в пробирки, закрытые ватно-марлевыми пробками или фольгой. Анализ зависимости длины побегов от типа пробки показал достоверное увеличение этого показателя у обоих видов в 1,3–1,8 раза при использовании фольги по сравнению с ватно-марлевыми пробками (таблица 2, рисунок 6).

Подобную тенденцию отмечали при анализе зависимости количества узлов на побег от типа пробки. При этом на количество образовавшихся побегов этот фактор не оказывал существенного влияния. Следует отметить, что при использовании фольги отметили тенденцию повышения коэффициента размножения (на 26–36 %), поэтому на этапе введения рекомендуется использовать этот тип пробки. Такие различия морфометрических параметров побегов могут быть обусловлены разным уровнем влажности и составом воздуха в пробирках при использовании различных пробок.

Таблица 2 – Влияние типа пробки и генотипа на развитие побегов при введении тимьяна в культуру *in vitro* (среда МС с 1,0 мг/л кинетина и 1,0 мг/л ГКЗ)

Вид	Тип пробки	Количество побегов, шт. на эксплант	Длина побега, см	Количество узлов, шт. на побег	Коэффициент размножения
<i>T. caucasicus</i>	фольга	2,2 ± 0,1	4,2 ± 0,2	3,7 ± 0,2	8,1 ± 0,7
	ватно-марлевая	2,0 ± 0,2	3,3 ± 0,2	3,2 ± 0,2	6,4 ± 0,6
<i>T. serpyllum</i>	фольга	2,2 ± 0,1	3,2 ± 0,2	3,0 ± 0,2	6,0 ± 0,6
	ватно-марлевая	2,1 ± 0,2	1,8 ± 0,2	2,1 ± 0,2	4,4 ± 0,4



Рисунок 6 – Развитие микропобегов *T. serpyllum in vitro* при использовании разных типов пробок

Проведен четырехфакторный дисперсионный анализ влияния различных факторов (генотипа, гормонального состава питательной среды, типа экспланта и типа пробки) на морфометрические показатели развития эксплантов тимьяна при культивировании на первом этапе клонального микроразмножения (рисунок 7).

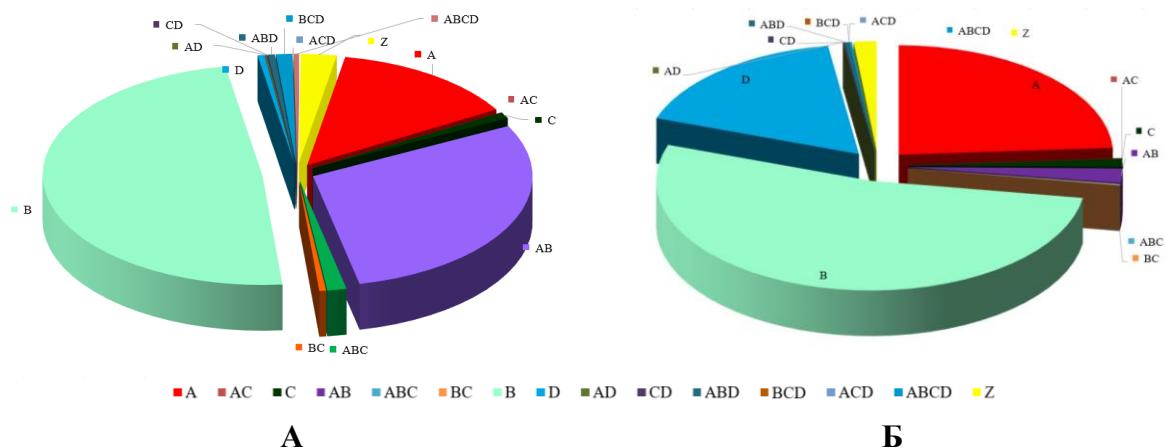


Рисунок 7 – Доля влияния фактора (генотипа, питательной среды, типа экспланта и типа пробки) на количество побегов (А) и длину побега (Б) на первом этапе микроразмножения тимьяна

Примечание. А – генотип; В – питательная среда; С – тип экспланта; D – тип пробки; АВ – генотип/питательная среда; АС – генотип/тип экспланта; АД – генотип/тип пробки; АВС – генотип/питательная среда/тип экспланта; ABD – генотип/питательная среда/тип пробки; ACD – генотип/тип экспланта/тип пробки; ABCD – генотип/питательная среда/тип экспланта/тип пробки; ВС – питательная среда/тип экспланта; BD – питательная среда/тип пробки; BCD – питательная среда/тип экспланта/тип пробки; CD – тип экспланта/тип пробки; Z – неучтенный фактор

Установлено, что на количество побегов (шт./эксплант) наибольшее влияние оказал состав питательной среды и взаимодействие генотипа и состава питательной среды (доля влияния соответственно 48,2 и 28,8 %). На длину побегов наибольшее влияние также оказал состав питательной среды (доля влияния 52,6 %) и меньшее – генотип (доля влияния 23,9 %). При анализе зависимости длины побега от лимитирующих факторов было выявлено существенное влияние типа пробки (17,3 %), что подтверждает данные о том, что использование фольги для закрытия пробирок способствовало удлинению побегов, а значит при последующем микрочеренковании – повышению коэффициента размножения. Проведенный анализ подтвердил отсутствие существенного влияния типа экспланта на микроразмножение тимьяна при введении в культуру *in vitro*. Это свидетельствует о том, что при введении в культуру *in vitro* целесообразно использовать как верхушки побега, так и сегменты стебля с узлом.

Выводы

В результате исследований выявлены особенности морфогенеза эксплантов *T. serpyllum* и *T. caucasicus* на первом этапе клонального микроразмножения *in vitro* в зависимости от состава регуляторов роста в питательной среде и условий культивирования. Подобраны режимы стерилизации, позволяющие получить до 87,3–94,2 % асептических эксплантов. Выявлена эффективность использования при введении в культуру *in vitro* двух типов эксплантов – верхушек побегов и сегментов стебля с узлом. При сравнении действия различных регуляторов роста в составе питательной среды МС показано, что культивирование эксплантов (сегментов стебля с узлом) на средах с кинетином способствовало увеличению длины микропобегов в 1,6–6,0 раза по сравнению с использованием БАП или ТДЗ. Установлено, что на первом этапе клонального микроразмножения оптимальной питательной средой для эксплантов *T. caucasicus* является среда МС с добавлением 1,0 мг/л кинетина, а для *T. serpyllum* – 1,0 мг/л БАП. Выявлено, что культивирование в пробирках, закрытых фольгой, позволило увеличить длину микропобегов в 1,3–1,8 раза и коэффициент размножения в 1,3–1,4 раза, по сравнению с пробирками,

закрытыми ватно-марлевыми пробками. Четырехфакторный дисперсионный анализ показал, что на количество побегов при микроразмножении наибольшее влияние оказал состав питательной среды и взаимодействие генотипа и состава питательной среды (доля влияния соответственно 48,2 и 28,8 %). Длина побегов в большей мере зависела от состава питательной среды, генотипа и типа пробки (доля влияния соответственно 52,6; 23,9 и 17,3 %). При оптимальном сочетании изученных факторов коэффициенты размножения у *T. caucasicus* и *T. serpyllum* достигали соответственно – 9,2 и 10,4. Проведенное исследование является основой для дальнейшей разработки методики клонального микроразмножения этих видов тимьяна.

Литература

1. Алексеева Л. И., Тетерюк Л. В. Фенольные соединения *Thymus talijevii* Klok. et Schost. // Химия растительного сырья. 2008. № 4. С. 65–68.
2. Анищенко И. Е., Кучерова С. В., Жигунов О. Ю. Тимьян – ценная пряно-ароматическая культура и её применение // Известия Оренбургского Государственного аграрного университета. 2016. № 4 (60). С. 63–65.
3. Брага П. К. Тимол: антибактериальная, противогрибковая и антиоксидантная активность // Гинекология. 2009. № 4 С. 61–66.
4. Kryvtsova M. V., Salamon I., Koscova J., Bucko D., Spivak M. Antimicrobial, antibiofilm and biochemical properties of *Thymus vulgaris* essential oil against clinical isolates of opportunistic infections // Biosystems Diversity. 2019. Vol. 27. No. (3). P. 270–275. DOI: 10.15421/011936.
5. Achoub H., Zaiter L., Benayache F., Benayache S., Chalchat J.C., Chalard P., Figueredo G., Akkal S. Chemical composition of the essential oil of aerial parts of *Thymus ciliatus* (Desf.) // Acta Scientifica Naturalis. 2019. Vol. 6(2). P. 62–70. DOI: 10.2478/asn-2019-0019.
6. Aljabeili H. S., Barakat H., Abdel-Rahman H. A. Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of *Thyme* essential oil (*T. vulgaris*) // Food and Nutrition Sciences. 2018. Vol. 9. P. 433–446. DOI: 10.4236/fns.2018.95034.
7. Javed H., Erum Sh., Tabassum S., Ameen F. An overview on medicinal importance of *Thymus vulgaris* // Journal of Asian Scientific Research. 2013. Vol. 3. No. 10. P. 974–982.
8. Ouakouak H., Benarfa A., Messaoudi M., Begaa S., Sawicka B., Benchikha N., Simal-Gandara J. Biological properties of essential oils from *Thymus algeriensis* Boiss // Plants. 2021. Vol. 10. Iss. 4. P. 786. DOI: 10.3390/plants10040786.
9. Piatkowska E., Rusiecka-Ziółkowska J. Influence of essential oils on infectious agents // Adv. Clin. Exp. Med. 2016. Vol. 25. P. 989–995. DOI: 10.17219/acem/31287.
10. Sienkiewicz M., Denys P., Kowalczyk E. Antibacterial and immunostimulatory effect of essential oils // Int. Rev. Allergol. Clin. Immunol. 2011. Vol. 17. Iss. 1–2. P. 40–44.
11. Cardoso J. C., Gerald L. T. S., Teixeira da Silva J. A. Micropropagation in the twenty-first century // In book: Plant cell culture protocols (4th edition) / Eds.: Loyola-Vargas V. M., Ochoa-Alejo N. New York: Humana Press, 2018. P. 17–46.
12. Калашникова Е. А. Клеточная инженерия растений. М.: Юрайт, 2020. 333 с.
13. El-Banna H. Micropropagation of thyme plant (*Thymus vulgaris*) // J. Plant Production. 2017. Vol. 8 (11). P. 1221–1227. DOI: 10.21608/jpp.2017.41294.
14. Bekircan T., Yaşar A., Yıldırım S., Sökmen M., Sökmen A. Effect of cytokinins on *in vitro* multiplication, volatiles composition and rosmarinic acid content of *Thymus leucotrichus* Hal. Hal. shoots // Biotech. 2018. Vol. 8. Art. No. 180. DOI: 10.1007/s13205-018-1206-2.
15. Kulpa D., Wesółowska A., Jadcak P. Micropropagation and composition of essential oils in garden *Thyme* (*Thymus vulgaris* L.) // Not Bot Horti Agrobi. 2018. Vol. 46(2). P. 525–532. DOI: 10.15835/nbha46211020.
16. Ansari Z. N. E., Boussaoudi I., Benkaddour R., Hamdoun O., Lemrini M., Martin P., Badoc A., Lamarti A. Conservation of *Thymus pallidus* Cosson ex Batt. by shoot tip and axillary bud *in vitro* culture // J Plant Biotechnol. 2020. Vol. 47. P. 53–65. DOI:10.5010/JPB.2020.47.1.053.
17. Khajuria A. K., Bisht N. S., Bhagat N. In vitro organogenesis and plant regeneration of *Thymus serpyllum* L.: an important aromatic medicinal plant // In Vitro Cell. Dev. Biol. – Plant. 2021. DOI: 10.1007/s11627-020-10094-9.
18. Bakhtiar Z., Mirjalili M. H., Sonboli A. In vitro callus induction and micropropagation of *Thymus persicus* (Lamiaceae), an endangered medicinal plant // Crop Breeding and Applied Biotechnology. 2016. Vol. 16. P. 48–54. DOI: 10.1590/1984-70332016v16n1a8.

19. Ansari Z. N., Mihyaoui A. El, Boussaoudi I., Benkaddour R., Hamdoun O., Tahiri H., Badoc A., Oualkadi A., Lamarti A. Effect of macronutrients, cytokinins and auxins, on *in vitro* organogenesis of *Thymus vulgaris* // American Journal of Plant Sciences. 2019. Vol. 10. P. 1482–1502. DOI: 10.4236/ajps.2019.109105.
20. Alcowni R., Solyman E., Qauod H. Introducing some of threatened *Thymus* species to *in vitro* tissue culturing as an approach for their conservation // Pak. J. Bot. 2017. Vol. 49 (1). P. 259–264.
21. Sargsyan E., Vardanyan A., Ghalachyan L., Bulgadaryan S. Cultivation of thymus by *in vitro* and hydroponics combined method // International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering. 2011. Vol. 5. No. 8. P. 426–429.
22. Калинин Ф. Л., Сарнацкая В. В., Полищук В. Е. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений. К.: Наукова думка, 1980. 488 с.
23. Егорова Н. А. Биотехнология эфиромасличных растений: создание новых форм и микроразмножение *in vitro*. Симферополь: Автограф, 2021. 315 с. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-978-5-6045452-9-4.
24. Тевфик А. Ш., Егорова Н. А. Клональное микроразмножение тимьяна обыкновенного *in vitro*: методические рекомендации. Симферополь: Ариал, 2021. 28 с.
25. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // Physiol. Plant. 1962. Vol. 15. No. 3. P. 473–497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x.
26. Лакин Г. Ф. Биометрия: Учеб. пособие для биол. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
27. Тевфик А. Ш., Егорова Н. А., Загорская М. С. Особенности морфогенеза эксплантов тимьяна обыкновенного на первом этапе клонального микроразмножения // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 2(14). С.118–127.

References

1. Alekseeva L. I., Teteryuk L. V. Phenolic compounds *Thymus talijevii* Klok. et Schost. // Khimija rastitel'nogo syr'ja (Chemistry of plant raw material). 2008. No. 4. P. 65–68.
2. Anishchenko I. Y., Kucheroва S. V., Zhigunov O. Yu. Characteristics of thyme as a valuable aromatic plant and its use // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2016. No. 4 (60). P. 63–65.
3. Braga P. K. Thymol: antibacterial, antifungal and antioxidant activity // Gynecology. 2009. No. 4. P. 61–66.
4. Kryvtsova M. V., Salamon I., Koscova J., Bucko D., Spivak M. Antimicrobial, antibiofilm and biochemical properties of *Thymus vulgaris* essential oil against clinical isolates of opportunistic infections // Biosystems Diversity. 2019. Vol. 27. No. (3). P. 270–275. DOI: 10.15421/011936.
5. Achoub H., Zaiter L., Benayache F., Benayache S., Chalchat J. C., Chalard P., Figueredo G., Akkal S. Chemical composition of the essential oil of aerial parts of *Thymus ciliatus* (Desf.) // Acta Scientifica Naturalis. 2019. Vol. 6(2). P. 62–70. DOI: 10.2478/asn-2019-0019.
6. Aljabeili H. S., Barakat H., Abdel-Rahman H. A. Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of *Thyme* essential oil (*T. vulgaris*) // Food and Nutrition Sciences. 2018. Vol. 9. P. 433–446. DOI: 10.4236/fns.2018.95034.
7. Javed H., Erum Sh., Tabassum S., Ameen F. An overview on medicinal importance of *Thymus vulgaris* // Journal of Asian Scientific Research. 2013. Vol. 3. No. 10. P. 974–982.
8. Ouakouak H., Benarfa A., Messaoudi M., Begaa S., Sawicka B., Benchikha N., Simal-Gandara J. Biological properties of essential oils from *Thymus algeriensis* Boiss // Plants. 2021. Vol. 10. Iss. 4. P. 786. DOI: 10.3390/plants10040786.
9. Piatkowska E., Rusiecka-Ziólkowska J. Influence of essential oils on infectious agents // Adv. Clin. Exp. Med. 2016. Vol. 25. P. 989–995. DOI: 10.17219/acem/31287.
10. Sienkiewicz M., Denys P., Kowalczyk E. Antibacterial and immunostimulatory effect of essential oils // Int. Rev. Allergol. Clin. Immunol. 2011. Vol. 17. Iss. 1–2. P. 40–44.
11. Cardoso J. C., Gerald L. T. S., Teixeira da Silva J. A. Micropropagation in the Twenty-First Century // In book: Plant cell culture protocols (4th edition) / Eds.: Loyola-Vargas V. M., Ochoa-Alejo N. New York: Humana Press, 2018. P. 17–46.
12. Kalashnikova E.A. Plant cell engineering. Moscow: Yurayt, 2020. 333 p.
13. El-Banna H. Micropropagation of thyme plant (*Thymus vulgaris*) // J. Plant Production. 2017. Vol. 8 (11). P. 1221–1227. DOI: 10.21608/jpp.2017.41294.
14. Bekircan T., Yaşar A., Yıldırım S., Sökmen M., Sökmen A. Effect of cytokinins on *in vitro* multiplication, volatiles composition and rosmarinic acid content of *Thymus leucotrichus* Hal. shoots // Biotech. 2018. Vol. 8. Art. No. 180. DOI: 10.1007/s13205-018-1206-2.
15. Kulpa D., Wesołowska A., Jadcak P. Micropropagation and composition of essential oils in garden Thyme (*Thymus vulgaris* L.) // Not Bot Horti Agrobo. 2018. Vol. 46(2). P. 525–532. DOI: 10.15835/nbha46211020.

16. Ansari Z. N. E., Boussaoudi I., Benkaddour R., Hamdoun O., Lemrini M., Martin P., Badoc A., Lamarti A. Conservation of *Thymus pallidus* Cosson ex Batt. by shoot tip and axillary bud *in vitro* culture // J Plant Biotechnol. 2020. Vol. 47. P. 53–65. DOI:10.5010/JPB.2020.47.1.053.
17. Khajuria A. K., Bisht N. S., Bhagat N. *In vitro* organogenesis and plant regeneration of *Thymus serpyllum* L.: an important aromatic medicinal plant // In Vitro Cell. Dev. Biol. – Plant. 2021. DOI: 10.1007/s11627-020-10094-9.
18. Bakhtiar Z., Mirjalili M. H., Sonboli A. *In vitro* callus induction and micropropagation of *Thymus persicus* (Lamiaceae), an endangered medicinal plant // Crop Breeding and Applied Biotechnology. 2016. Vol. 16. P. 48–54. DOI: 10.1590/1984-70332016v16n1a8.
19. Ansari Z. N., Mihyaoui A. El, Boussaoudi I., Benkaddour R., Hamdoun O., Tahiri H., Badoc A., Oualkadi A., Lamarti A. Effect of macronutrients, cytokinins and auxins, on *in vitro* organogenesis of *Thymus vulgaris* // American Journal of Plant Sciences. 2019. Vol. 10. P. 1482–1502. DOI: 10.4236/ajps.2019.109105.
20. Alcowni R., Solyman E., Qauod H. Introducing some of threatened thymus species to *in vitro* tissue culturing as an approach for their conservation // Pak. J. Bot. 2017. Vol. 49 (1). P. 259–264.
21. Sargsyan E., Vardanyan A., Ghalachyan L., Bulgadaryan S. Cultivation of thymus by *in vitro* and hydroponics combined method // International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering. 2011. Vol. 5. No. 8. P. 426–429.
22. Kalinin F. L., Sarnatskaya V. V., Polishchuk V. E. Methods of tissue culture in plant physiology and biochemistry. Kiev: Naukova dumka, 1980. 488 p.
23. Yegorova N. A. Biotechnology of essential oil plants: creation of new forms and micropropagation *in vitro*. Simferopol: Avtograf, 2021. 315 p. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-978-5-6045452-9-4.
24. Tevfik A. Sh., Yegorova N. A. Clonal micropropagation of *Thymus vulgaris* L. *in vitro*: guidelines. Simferopol: Arial, 2021. 28 p.
25. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // Physiol. Plant. 1962. Vol. 15. No. 3. P. 473–497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x.
26. Lakin G. F. Biometrics: Textbook for biologists. Moscow: Vysshaya shkola, 1990. 352 p.
27. Tevfik A. Sh., Yegorova N. A., Zagorskaya M. S. Peculiarities of *Thymus vulgaris* L. explants morphogenesis at the first stage of clonal micropropagation // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2018. No. 2 (14). P. 118–127.

UDC 633.81:57.085.2

Tevfik A. Sh., Yegorova N. A., Kovalenko M. S.

INFLUENCE OF LIMITING FACTORS ON THE DEVELOPMENT OF *THYMUS SERPYLLUM* L. AND *THYMUS CAUCASICUS* WILLD. EXPLANTS AT THE FIRST STAGE OF MICROPROPAGATION *IN VITRO*

Summary. The attention of researchers has long been attracted by representatives of the genus *Thymus*. They are widely used in pharmaceutical, cosmetic and culinary industries. Many plant breeding problems cannot be solved without the use of biotechnological methods. This research was aimed to study the influence of the culture medium hormonal composition, explant type and cultivation conditions on the development of *Thymus serpyllum* L. and *Thymus caucasicus* Willd. explants at the first stage of clonal micropropagation *in vitro*. Stem segments with a node and shoot tips were used as explants. The following article presents the results of analysis of explants morphometric parameters during cultivation on 11 variants of Murashige and Skoog (MS) culture medium with the addition of kinetin, thidiazuron, 6-benzylaminopurine (BAP), gibberellic or indoleacetic acids. When cultivating these types of explants, no significant differences in most of the analyzed parameters were found. When comparing different growth regulators, the maximum number of shoots was obtained in culture media containing BAP; the maximum length of shoots – in media with the addition of kinetin. At the stage of introduction explants into *in vitro* culture, the most effective culture medium for *T. caucasicus* was MS with 1.0 mg/l of kinetin, for *T. serpyllum* – MS with 1.0 mg/l of BAP. Cultivation of explants in test tubes covered with foil contributed to an increase in the multiplication index up to 1.4 times compared to those with cotton-gauze plugs (stoppers).

*A four-factor analysis of variance showed that during micropropagation, the culture medium composition had the greatest influence on the number and length of shoots (the share of influence was 48.2 and 52.6%, respectively). Multiplication indexes of *T. caucasicus* and *T. serpyllum* reached 9.2–10.4 when the studied factors were optimally combined. The research results are the basis for the development of clonal micropropagation methods for *T. serpyllum* and *T. caucasicus*.*

Keywords: *Thymus serpyllum L., Thymus caucasicus Willd., clonal micropropagation in vitro, culture medium, growth regulators, explant.*

Тевфик Арзы Шевкиевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: tevfik.arzy@yandex.ua.

Егорова Наталья Алексеевна, доктор биологических наук, заведующая лабораторией биотехнологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: yegorova.na@mail.ru.

Коваленко Мария Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: mary-exo-1@yandex.ru.

Tevfik Arzy Shevkievna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher of the Laboratory of biotechnology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: tevfik.arzy@yandex.ua.

Yegorova Natalia Alekseevna, Dr. Sc. (Biol.), head of the Laboratory of biotechnology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: yegorova.na@mail.ru.

Kovalenko Maria Sergeevna, junior researcher of the Laboratory of biotechnology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: mary-exo-1@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 27.02.2023.

Дата принятия к печати – 28.03.2023.

УДК 633.13:631. 527

DOI: 10.5281/zenodo.7898532

EDN IHSVJI

Тулякова М. В., Баталова Г. А., Салтыков С.С., Пермякова С. В.

УРОЖАЙНОСТЬ И АДАПТИВНАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБРАЗЦОВ ОВСА ПЛЕНЧАТОГО В УСЛОВИЯХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

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

Реферат. Цель исследований – оценка сортообразцов овса по урожайности зерна и параметрам адаптивности в условиях Кировской области. Материал для исследования – 10 сортообразцов овса и сорт-стандарт Кречет. Исследования выполнены в 2019–2021 гг. на опытном поле Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого». Годы исследований существенно различались по агроклиматическим условиям. Были отмечены сортообразцы 15465 Жорга (590 г/м^2), к-4173 353 АС М₅ (575 г/м^2), сформировавшие высокую урожайность в среднем за годы исследований. На формирование урожайности овса наибольшее влияние оказал фактор «год» – 83,84 %. Индекс условий среды (I_i) варьировал от –221 до +225. Отмечена высокая стрессоустойчивость у сортообразцов: 15317 АСОТ, 15465 Жорга, к-4173 353 АС М₅ (от –0,64 до –0,73 г/м^2). Выделены сортообразцы интенсивного типа, отзывчивые на изменение условий среды: 15394 SW Tugerborg ($b_i = 1,25$), 15429 Cwal ($b_i = 1,34$), 15291 НЕТМАН ($b_i = 1,21$). У остальных наблюдали слабую реакцию на изменение условий окружающей среды ($b_i = 0,73–0,86$). Высокая общая адаптивная способность отмечена у сортообразцов: 15465 Жорга, 15394 SW Tugerborg, 15420 Cwal, к-4173 353 АС М₅ ($OAC_i = \text{от } 51 \text{ до } 29 \text{ г/м}^2$). В результате проведенного анализа по признаку «урожайность» были выделены сортообразцы с наиболее оптимальным комплексом адаптивности 15465 Жорга ($CAC_i = 190$; $Sg_i = 32,2$; $Kg_i = 0,73$), 4173 353 АС М₅ ($CAC_i = 177,9$; $Sg_i = 30,9$; $Kg_i = 0,64$). Высокие показатели селекционной ценности генотипа отмечены у сортообразцов 1465 Жорга ($СЦГ_i = 365,45$), к-4173 353 АС М₅ ($СЦГ_i = 365,08$), к-3940 Vaiyan N 0.14 ($СЦГ_i = 322,43$). Анализ корреляции показал достоверную сопряженность урожайности с общей адаптивной способностью ($r = 0,99$). Для дальнейшей работы в адаптивной селекции представляют интерес сортообразцы 15465 Жорга и к-4173 353 АС М₅.

Ключевые слова: овес (*Avena sativa* L.), сортообразец, урожайность, индекс условий среды, адаптивность, стабильность, селекционная ценность.

Для цитирования: Тулякова М. В., Баталова Г. А., Салтыков С.С., Пермякова С. В. Урожайность и адаптивная способность образцов овса пленчатого в условиях Кировской области // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 125–134. DOI: 10.5281/zenodo.7898532. EDN: IHSVJI.

For citation: Tulyakova M. V., Batalova G. A., Saltykov S.S., Permyakova S. V. Productivity and adaptive ability of filmy oat samples under conditions of the Kirov region // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(33). P. 125–134. DOI: 10.5281/zenodo.7898532. EDN: IHSVJI.

Введение

Важной частью селекционной работы является использование нового генофонда растений. Генетическое разнообразие играет важную роль в селекционном процессе и обуславливает актуальность исследований, в ходе которых изучаются особенности формирования урожайности и влияние на нее факторов внешней среды [1–3]. В зависимости от особенностей сорта определяют технологию его возделывания [4]. В регионах с неустойчивыми агроклиматическими условиями как в течение всего

периода вегетации, так и по годам большое значение имеет их экологическая устойчивость [5, 6]. В настоящее время важной задачей становится сочетание в сорте высокой продуктивности и экологической стабильности [7]. Стрессовые факторы окружающей среды оказывают существенное влияние на рост и развитие растений, что в дальнейшем приводит к снижению урожайности зерна [8].

Кировская область относится к зоне рискованного земледелия с большим количеством стрессовых факторов биотического и абиотического характера. Чем хуже погодные и почвенно-климатические условия в той или иной земледельческой зоне, тем выше роль генетической защищенности признаков потенциальной продуктивности, экологической устойчивости сортов и гибридов [9, 10]. Учет взаимодействия генотипа со средой в селекции растений включает оценку общей и специфической адаптивной способности, стабильности генотипов в различных средах, а также оценку среды как фона для отбора [11]. Под адаптивной способностью подразумевают способность генотипа поддерживать фенотипическое выражение признака в конкретных условиях среды. Общая адаптивная способность (OAC_i) отображает среднее значение признака в различных условиях среды, а специфическая адаптивная способность (SAC_i) – отклонение от OAC_i в определенной среде [12].

Цель исследований – оценка сортообразцов овса плёнчатого (*Avena sativa* L.) по урожайности зерна и параметрам адаптивности для выбора наиболее приспособленных к условиям Кировской области.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в 2019–2021 гг. на опытном поле Фалёнской селекционной станции – филиала Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого». Были изучены 10 коллекционных сортообразцов овса пленчатого (*Avena sativa* L.): 15278 23h2201 (Московская область), к-4173 AC M₅ (Краснодарский край), 15317 ACOT (Ленинградская область), 15301 CDC DANCER (Канада), 15465 Жорга (Казахстан), 15394 SW Tagerborg (Швеция), 15429 CWAL, 15291 HETMAN, 15430 Deresz (Польша), к-3940 Baiyan N 0.14 (Китай) и сорт-стандарт Кречет (ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока»).

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая (содержание подвижного фосфора – 272–316 мг/кг, обменного калия – 150–183 мг/кг (ГОСТ Р 54650 -2011), рН солевой вытяжки – 5,0–5,2 ед. (ГОСТ Р 26483-85), содержание ионов (Al^{3+}) – 5,0–6,5 мг/100 г почвы (по Соколову)). Сортообразцы сеяли на делянках площадью 1 м² в трехкратной повторности. Агротехника – общепринятая для возделывания овса в условиях Кировской области.

Статистическую обработку данных выполняли с помощью пакета программ AGROS 2.07, используя дисперсионный и корреляционный анализы. Устойчивость к стрессу (Y_2-Y_1) рассчитывали по А. А. Гончаренко [13]. Оценка общей (OAC_i) и специфической (SAC_i) адаптивной способности сортообразцов, относительную стабильность сорта (Sg_i), коэффициент компенсации (Kg_i) и селекционную ценность генотипа ($СЦГ_i$) определяли методом А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой [12]. Коэффициент регрессии (b_i), индекс условий среды (I_j) рассчитывали по методике S. A. Eberhart и W. A. Russell в изложении В. З. Пакудина и Л. М. Лопатиной [14].

Климатические условия в годы проведения исследований заметно различались, как по количеству выпавших осадков, так и по температурному режиму. Период вегетации 2019 г. характеризовался достаточным увлажнением и пониженным температурным режимом. Наблюдали пониженные относительно средней многолетней среднесуточные температуры воздуха в июне (–0,9 °С), июле (–1,9 °С) и первой декаде августа (–0,7 °С). Количество осадков ниже нормы было отмечено в мае (–13,2 мм) и июле (–1,6 мм), избыточное увлажнение наблюдали в

июне (+41,9 мм) и августе (+91,3 мм). В целом был получен высокий урожай зерна, ГТК составил 1,91.

Условия периода вегетации 2020 г. также были благоприятны для роста и развития растений овса, ГТК = 1,19. Сумма осадков за май составила 65,1 мм (141 % от нормы). Большая их часть (50,9 мм) пришлась на третью декаду месяца, что в совокупности с запасами влаги в почве оказало положительное влияние на темпы появления всходов и начало кущения. Недостаточное количество осадков на фоне высокой среднемесячной температуры I и II декады июля (20,5 °С и 22,1 °С) способствовало быстрому созреванию растений овса. Вегетационный период 2021 г. был засушливым, ГТК = 0,68. Май был жарким, среднемесячная температура воздуха (15,0 °С) превысила климатическую норму на 4,8 °С. Июнь был сухим, эффективные осадки практически отсутствовали, их количество составляло 19,1 мм (29 % от нормы). Среднемесячная температура воздуха (19,3 °С) превысила климатическую норму на 3,3 °С. В июле была неустойчивая погода, в отдельные дни температура воздуха достигала 30,6 °С и составила в среднем 18,8 °С, осадков выпало 65,3 мм (85 % нормы). Засуху наблюдали практически на протяжении всего периода вегетации, это привело к быстрому прохождению фаз развития растений, что негативно отразилось на урожайности овса (рисунок 1, 2).

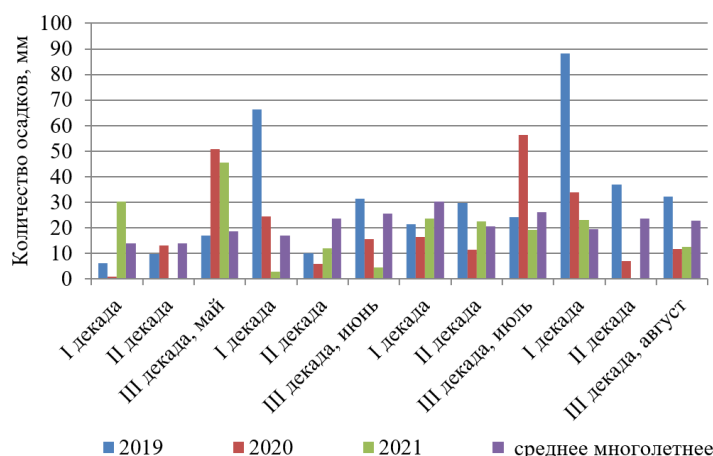


Рисунок 1 – Среднемесячное количество осадков за вегетационный период 2019–2021 гг. (п. Фалёнки)

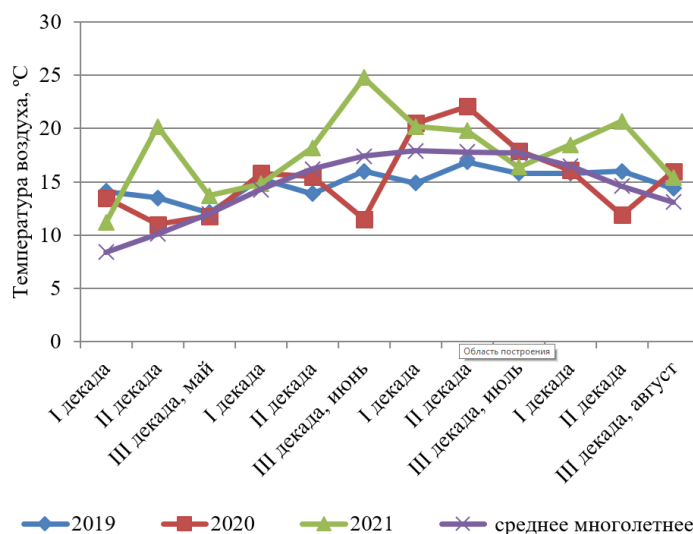


Рисунок 2 – Среднемесячная температура воздуха вегетационных периодов 2019–2021 гг. (п. Фалёнки)

Результаты и их обсуждение

Различные (Контрастные) по температурному режиму погодные условия в период вегетации позволили в полной мере оценить реакцию генотипа на изменение факторов окружающей среды [15]. Варьирование (C_v) сортообразцов овса по годам находилось в пределах 25,27–41,86 %. Наиболее адаптивными были сортообразцы с низким коэффициентом вариации: к-4173 353 AC M₅ ($C_v = 25,27 \%$), 15465 Жорга ($C_v = 26,34 \%$), 15317 ACOT ($C_v = 29,74 \%$), к-3940 Baiyan N 0.14 ($C_v = 30,18 \%$). В среднем самый высокий коэффициент вариации урожайности был отмечен у сортообразцов 15429 Cwal ($C_v = 41,86 \%$) и 15278 23h2201 ($C_v = 41,5 \%$).

В годы исследований индекс условий среды обладал значительной вариабельностью. Наиболее благоприятные условия для формирования высокого урожая овса сложились в 2019 и 2020 гг., индекс условий среды (I_j) составил 225 и –4. В 2019 г. урожайность варьировала от 619 г/м² у сортообразца 15317 ACOT до 888 г/м² у 15429 Cwal. Стандарт достоверно превысили ($НСР_{05} = 185 \text{ г/м}^2$) четыре сортообразца: 15429 Cwal, 15394 SW Tugerborg, 15291 HETMAN, к-3940 Baiyan N 0.14.

В 2020 г. наименьшую урожайность сформировал стандарт Кречет – 455 г/м², наибольшую – сортообразец 15465 Жорга – 696 г/м². Все остальные сортообразцы достоверно (от 3 до 194 г/м²) превысили стандарт. В засушливом 2021 г. индекс среды имел значение минус 221. Таким образом, в условиях засухи 2021 г. минимальная урожайность получена у сортообразца 15278 23h2201 – 274 г/м² (при урожайности 295 г/м² у стандарта). Сортообразцы 15465 Жорга, к-4173 353 AC M₅ и к-3940 Baiyan N 0.14 превысили стандарт Кречет по урожайности на 75, 77 и 147 г/м² соответственно (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность коллекционных сортообразцов овса, г/м²

№ каталога	Образец	Происхождение	Год изучения			
			2019	2020	2021	среднее
	Кречет (St.)	Кировская область	691	455	295	480
15278	23h2201	Московская область	786	466	274	509
15317	ACOT	Ленинградская область	619	583	289	497
4173	353 AC M ₅	Краснодарский край	704	649	372	575
15301	CDC DANCER	Канада	798	466	370	545
15465	Жорга	Казахстан	703	696	370	590
15394	SW Tugerborg	Швеция	855	595	299	583
15429	Cwal	Польша	888	624	278	597
15291	HETMAN	Польша	850	475	315	547
15430	Deresz	Польша	771	491	277	513
3940	Baiyan N 0.14	Китай	816	458	442	572
Среднее по опыту			771	542	325	546
НСР ₀₅			185	157	63	
Индекс условий среды (I_j)			225	–4	–221	

В результате проведенного дисперсионного анализа выявлены значимые (на 5 % уровне значимости) эффекты среды, генотипов и их воздействия на урожайность зерна. Основное влияние на изменчивость урожайности оказал фактор А, условия года – 83,84 %. Доля влияния генотипа фактора В составила 5,39 %. Их взаимодействие (А×В) –10,77 % (таблица 2).

Разность между максимальной и минимальной урожайностью ($У_2-У_1$) отражает устойчивость сортообразцов к стрессу. Этот показатель имеет отрицательный знак. Чем меньше разница между максимальной урожайностью и минимальной, тем стрессоустойчивость сортообразцов выше и шире диапазон их приспособительных возможностей [16]. За годы исследований выделены

сортообразцы с высокой устойчивостью к стрессу: 15317 АСОТ (–330), к-4173 353 АС М₅ (–332), 15465 Жорга (–333), к-3940 Baiyan N 0.14 (–374).

Таблица 2 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа (2019–2021 гг.)

Источник варьирования	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅	Доля влияния фактора, %
Общая	23496474,00	296	-	-	-	-
Варианты	23496104,00	98	-	-	-	-
Фактор А (год)	19699688,00	2	9849844,0	5354580,00*	19,0	83,8
Фактор В (сорт)	1265479,50	32	39546,23	21498,31*	1,69	5,4
Взаимодействие А×В	2530936,50	64	39545,88	21497,96*	1,52	10,8
Остаток	360,54	196	1,84	-	-	-

Примечание. * – данные достоверны при $p = 0,05$.

Коэффициент линейной регрессии (b_i) использовали для расчета экологической пластичности, в нашем опыте он варьировал от 0,73 до 1,37 (таблица 3).

По степени реакции на изменение условий среды сортообразцы разделили по категориям от слабоотзывчивых ($b_i < 1$) до более отзывчивых ($b_i > 1$). Выделены сортообразцы с высокой отзывчивостью на улучшение условий выращивания: 15278 23h2201 ($b_i = 1,15$), 15394 SW Tugerborg ($b_i = 1,25$), 15429 Cwal ($b_i = 1,37$), 15291 НЕТМАН ($b_i = 1,21$), 15430 Deresz ($b_i = 1,11$). Эти сортообразцы можно будет использовать в селекции сортов интенсивного типа. Слабо реагировали на изменения условий выращивания сортообразцы 15317 АСОТ ($b_i = 0,73$), к-4173 353 АСМ₅ ($b_i = 0,74$), 15301 CDC DANCER ($b_i = 0,90$). Данный показатель у сортов 415465 Жорга и к-3940 Baiyan N 0.14, превысивших стандарт по урожайности, составил 0,74 и 0,84 соответственно.

Такие сортообразцы и в засушливые, и в благоприятные годы будут давать стабильный урожай зерна.

Таблица 3 – Показатели адаптивной способности коллекционных сортообразцов овса по признаку «урожайность» (2019–2021 гг.)

№ каталога	Образец	(V), %	OAC _i	CAC _i	Sg _i , %	СЦГ _i	Kg _i	У ₂ -У ₁	b _i
	Кречет (St.)	32,84	–66	199,2	41,5	244,99	0,80	–396	0,86
15278	23h2201	41,51	–37	258,6	50,8	203,85	13,4	–521	1,15
15317	АСОТ	29,74	–49	181,0	36,4	283,42	0,66	–330	0,73
4173	353 АС М ₅	25,27	29	177,9	30,9	365,08	0,64	–332	0,74
15301	CDC DANCER	33,66	–1	224,6	41,2	279,97	1,01	–428	0,90
15465	Жорга	26,34	44	190,3	32,3	365,45	0,73	–333	0,74
15394	SW Tugerborg	38,96	37	278,2	47,7	254,72	1,56	–556	1,25
15429	Cwal	41,86	51	305,9	51,2	236,04	1,88	–610	1,37
15291	НЕТМАН	41,11	–1	275,0	50,4	221,50	1,52	–536	1,21
15430	Deresz	39,43	–13	247,7	48,3	220,71	1,23	–494	1,11
3940	Baiyan N 0.14	30,18	26	211,5	37,0	322,43	0,90	–374	0,84

Примечание. Здесь и далее: V – коэффициент вариации, OAC_i – общая адаптивная способность, G²_{CACi} – специфическая адаптивная способность, Sg_i – относительная стабильность сорта, СЦГ_i – селекционная ценность генотипа, Kg_i – коэффициент компенсации, У₂-У₁ – показатель стрессоустойчивости, b_i – коэффициент линейной регрессии.

Общая адаптивная способность сортов отображает среднее значение признака в различных условиях среды. [17, 18]. Для выделения генотипов, которые гарантируют максимальную среднюю урожайность во всей совокупности сред,

использовали показатель общей адаптивной способности (OAC_i). Общая адаптивная способность изученных сортообразцов варьировала от +44 до -49 (см. таблица 3). У группы сортообразцов (15465 Жорга, 15394 SW Tugerborg, 15429 Cwal, к-3940 Baiyan N 0.14 к-4173 353 AC M₅) были отмечены положительные значения общей адаптивной способности. Максимальная общая адаптивная способность выявлена у сортообразцов 15429 Cwal ($OAC_i = 51$) и 15465 Жорга ($OAC_i = 44$). По методике А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой в качестве показателей экологической стабильности применяли специфическую адаптивную способность (CAC_i), относительную стабильность сорта (Sg_i), коэффициент компенсации (Kg_i). Из всех изученных сортообразцов максимальная стабильность признака «урожайность» отмечена у сортообразцов: к-41733 353 AC M₅ ($CAC_i = 177,9$; $Sg_i = 30,9$; $Kg_i = 0,64$), 15317 ACOT ($CAC_i = 181,0$; $Sg_i = 36,4$; $Kg_i = 0,66$), 15465 Жорга ($CAC_i = 190$; $Sg_i = 32,3$; $Kg_i = 0,73$), к-3940 Baiyan N 0.14 ($CAC_i = 211,5$; $Sg_i = 37,0$; $Kg_i = 0,90$). Критерий, используемый для одновременного отбора генотипов по продуктивности и стабильности – селекционная ценность генотипа (CCG_i). Выделены сортообразцы со стабильно высокой урожайностью: 15465 Жорга ($CCG_i = 365,45$), к-4173 353 AC M₅ ($CCG_i = 365,08$), к-3940 Baiyan N 0.14 ($CCG_i = 322,43$).

Взаимосвязь коэффициентов корреляции между параметрами адаптивной способности сортообразцов овса по признаку «урожайность» определяли методом корреляционного анализа (таблица 4). Не установлено существенной зависимости между общей адаптивной способностью и параметрами стабильности. Достоверную положительную корреляционную зависимость наблюдали между урожайностью зерна и общей адаптивной способностью. Достоверно высокая (на 1 % уровне значимости) тесная взаимосвязь между b_i и CAC_i , b_i и Sg_i , CAC_i и Sg_i говорит о том, что данные показатели дают сравнительно близкую информацию о стабильности сортообразцов. Достоверно высокая отрицательная корреляция выявлена между параметрами b_i и CCG_i , Sg_i и CCG_i . Все это позволяет нам выделить пластичные и стабильные сортообразцы для использования в селекционной работе при создании новых адаптивных сортов.

Таблица 4 – Взаимосвязь урожайности и параметров адаптивности коллекционных образцов овса

Показатель	Урожайность	b_i	OAC_i	CAC_i	Sg_i , %	CCG_i
Урожайность	-	-	-	-	-	-
b_i	0,18	-	-	-	-	-
OAC_i	0,99**	0,22	-	-	-	-
$G^2_{CAC_i}$	0,27	0,99**	0,31	-	-	-
Sg_i , %	-0,13	0,94**	-0,10	0,92**	-	-
CCG_i	0,48	-0,78**	0,46	-0,72*	-0,93**	-
Kg_i	-0,26	0,32	-0,29	0,31	0,45	-0,47

Примечание. * – данные достоверны при $p = 0,05$, ** – данные достоверны при $p = 0,01$.

Выводы

В результате проведенных в 2019–2021 гг. исследований высокая средняя урожайность отмечена у сортообразцов 15465 Жорга (590 г/м²), к-4173 353 AC M₅ (575 г/м²). Отмечены образцы с высокой устойчивостью к стрессу: 15317 ACOT, 15465 Жорга, к-4173 353 AC M₅ ($Y_2 - Y_1 =$ от -0,64 до -0,73 г/м²). Выделены сортообразцы с разным уровнем экологической пластичности к абиотическим факторам интенсивного типа: 15394 SW Tugerborg ($b_i = 1,25$), 15429 Cwal ($b_i = 1,34$),

15291 НЕТМАН ($b_i = 1,21$). Остальные сортообразцы имели слабую реакцию на изменение условий среды ($b_i = 0,73-0,86$).

Высокая адаптивная способность отмечена у сортообразцов: 15465 Жорга, 15394 SW Tugerborg, 15420 Cwal, к-4173 353 АС М₅ ($OAC_i =$ от 51 до 29 г/м²).

Проведенный анализ позволил выделить сортообразцы с наиболее оптимальным сочетанием параметров адаптивности по урожайности зерна: 15465 Жорга ($CAC_i = 190$; $Sg_i = 32,2$; $Kg_i = 0,73$), 4173 353 АС М₅ ($CAC_i = 177,9$; $Sg_i = 30,9$; $Kg_i = 0,64$). По показателю «селекционная ценность генотипа» выделены сортообразцы: 1465 Жорга ($СЦГ_i = 365,45$), к-4173 353 АС М₅ ($СЦГ_i = 365,08$), к-3940 Baiyan N 0.14 ($СЦГ_i = 322,43$). Выявлена тесная корреляция между показателями урожайности и общей адаптивной способности ($r = 0,99^{**}$). По показателям комплексной оценки адаптивности интерес для селекционной работы представляют сортообразцы 15465 Жорга, к-4173 353 АС М₅, которые способны формировать высокий урожай в различных погодных условиях.

Литература

1. Валегжанин В. С. Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Приобской лесостепи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (171). С. 5–10.
2. Кулемина Т. В. Изучение хозяйственно ценных признаков новых образцов проса коллекции ВИР в условиях Екатерининской опытной станции ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182 (4). С. 48–60. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-48-60.
3. Юсов С. В., Евдокимов М. Г., Кирьякова М. Н., Глушаков Д. А. Использование генофонда сортов и линий СИММУТ в селекции яровой твердой пшеницы в Западной Сибири // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т.183 (1). С. 95–103. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-95-103.
4. Валекжанин В. С., Коробейников Н. И., Березникова Н. А. Генофонд мягкой яровой пшеницы европейской селекции как исходный материал для создания новых сортов в алтайском крае // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 8. (202). С. 5–10. DOI: 10.53083/1996-4277-2021-202-08-5-10.
5. Ayalneh T., Letta T., Abinasa M. Assessment of stability, adaptability and yield performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in South Eastern Ethiopia // Plant Breeding and Seed Science. 2013. Vol. 67 (1). P. 3–11. DOI: 10.2478/v10129-011-0065-3.
6. Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21 (2). С. 114–123. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123.
7. Лапочкина И. Ф., Гайнуллин Н. Р., Баранова О. А., Коваленко Н. М., Марченкова Л. А., Павлова О. В., Митрошина О. В. Комплексная устойчивость линий яровой и озимой мягкой пшеницы к биотическим и абиотическим стрессам // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25 (7). С. 723–731. DOI: 10.18699/VJ21.082.
8. Аниськов Н. И. Сафонова И. В. Содержание белка и уровень пластичности, стабильности, гомеостатичности коллекционных образцов ржи в условиях северо-западного региона // Вестник Краснодарского ГАУ. 2021. № 3 (64). С. 64–70. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-3-64-70.
9. Sarkar B., Sharma R. C., Verma R. P. S., Sarkar A., Sharma I. Identifying superior feed barley genotypes using GGE biplot for diverse environments in India // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2014. No.74 (1). P. 26–33. DOI: 10.5958/j.0975-6906.74.1.004.
10. Юсова О. А., Николаев П. Н., Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181 (2). С. 42–49. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49.
11. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В., Федин М. А., Мац С. Р. Изучение основных параметров среды как фона для отбора в селекционном процессе // Генетика. 1987. № 10. Т. XXIII. С. 1866–1875.
12. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Экологическая селекция растений. Минск: Тэхналогія, 1997. 372 с.
13. Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН. 2005. № 6. С. 49–53.

14. Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. 1984. № 4. С. 109–113
15. Шляхтина Е. А. Адаптивный потенциал сортов озимой ржи в условиях Кировской области // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1 (29). С. 192–199. EDN: YZJNGD.
16. Шляхтина Е. А., Рылова О. Н. Результаты оценки адаптивных показателей признаков «урожайность» и «числа падения» сортов озимой ржи в условиях Кировской области // Зерновое хозяйство России. 2020. № 3 (69). С. 38–142. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-38-42.
17. Крохмаль А. В., Грабовец А. И., Гординская Е. А., Бирюков К. Н., Барулина Н. И. Селекция тритикале кормового направления на продуктивность и адаптивность // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 6. С. 54–58. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10610.
18. Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко Н. А., Дедушев И. А., Ромахина В. В., Болдырев М. А. Урожайность, пластичность, стабильность и гомеостатичность сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183 (1). С. 38–147. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-47.

References

1. Valekzhanin V. S. The sources of parent material for spring soft wheat breeding under the conditions of the forest-steppe of the Altai region's Ob river area // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2019. No. 1 (171). P. 5–10.
2. Kulemina T. V. Studying agronomic characters in new millet accessions from the VIR collection at Yekaterinino Experiment Station of VIR // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2021. Vol. 182 (4). P. 48–60. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-48-60.
3. Yusov V. S., Evdokimov M. G., Kiriakova M. N., Glushakov D. A. Using the gene pool of CIMMYT cultivars and lines in spring durum wheat breeding in Western Siberia // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022. Vol. 183 (1). P. 95–103. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-95-103.
4. Valekzhanin V. S., Korobeynikov N. I., Bereznikova N. A. Gene pool of European soft spring wheat as a source material for new variety development in the Altai region // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2021. No. 8 (202). P. 5–10. DOI: 10.53083/1996-4277-2021-202-08-5-10.
5. Ayalneh T., Letta T., Abinasa M. Assessment of stability, adaptability and yield performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in South Eastern Ethiopia // Plant Breeding and Seed Science. 2013. Vol. 67 (1). P. 3–11. DOI: 10.2478/v10129-011-0065-3.
6. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Yield, ecological plasticity and stability of spring soft and durum wheat varieties in the southern forest steppe of Tyumen region // Agricultural Science Euro-North-East. 2020. No. 21 (2). P. 114–123. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123.
7. Lapochkina I. F., Gainullin N. R., Baranova O. A., Kovalenko N. M., Marchenkova L. A., Pavlova O. V., Mitroshina O. V. Complex resistance of spring and winter bread wheat lines to biotic and abiotic stresses // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021. Vol. 25 (7). P. 723–731. DOI 10.18699/VJ21.082.
8. Aniskov N. I., Safonova I. V. Protein content and level of plasticity, stability, homeostaticity of collection rye samples under conditions of the northwestern region // Bulletin of KSAU. 2021. No. 3 (64). P. 64–70. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-3-64-70.
9. Sarkar B., Sharma R. C., Verma R. P. S., Sarkar A., Sharma I. Identifying superior feed barley genotypes using GGE biplot for diverse environments in India // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2014. No.74 (1). P. 26–33. DOI: 10.5958/j.0975-6906.74.1.004
10. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Safonova I.V., Aniskov N. I. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2020. Vol. 181(2). P. 42–49. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49.
11. Kilchevskiy A. V., Khotyleva L. V., Fedin M.A., Matz S.R. The study of the basic parameters of the environment as a background for selection in the breeding process // Genetics. 1987. No. 10. Vol. XXIII. P. 1866–1875.
12. Kilchevskiy A. V., Khotyleva L. V. Ecological plant breeding. Minsk, Tekhnologiya, 1997. 372 p.
13. Goncharenko A. A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties // Vestnik RAAS. 2005. No. 6. P. 49–53.
14. Pakudin V. Z., Lopatina L. M. Assessment of ecological plasticity and stability of varieties of agricultural crops // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 1984. No. 4. P. 109–113.
15. Shlyakhtina E. A. Adaptive potential of winter rye varieties under conditions of Kirov region // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1 (29). P. 192–199. EDN: YZJNGD.
16. Shlyakhtina E. A., Rylova O. N. The estimation results of the adaptive indicators of the traits “productivity” and “a falling number” of the winter rye varieties in the Kirov region // Grain Economy of Russia. 2020. No. 3 (69). P. 38–42. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-38-42.
17. Krokmal A. V., Grabovets A. I., Gordinskaya E. A., Biryukov K. N., Barulina N. I. Breeding of feed triticale for good productivity and adaptability // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2020. Vol. 34 (6). P. 54–58. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10610.
18. Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko N. A., Dedushev I. A., Romakhina V. V., Boldyrev M. A. Yield, plasticity, stability and homeostasis of spring barley cultivars in the Non-Black Earth

Tulyakova M. V., Batalova G. A., Saltykov S.S., Permyakova S. V.

PRODUCTIVITY AND ADAPTIVE ABILITY OF FILMY OAT SAMPLES UNDER CONDITIONS OF THE KIROV REGION

Summary. *The purpose of the research was to evaluate Avena sativa L. variety samples by grain yield and adaptability parameters under conditions of the Kirov region. Ten variety samples of oats and standard variety 'Krechet' served as a material of this research. The studies were carried out in 2019–2021. Trial plots were located on the experimental fields of Falenskaya Breeding Station – branch of FSBSI "Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky". The agro-climatic conditions varied significantly during the years of research. On average, over the years of research, variety samples '15465 Zhorga' and 'k-4173 353 AC M5' were the most productive ones, since they formed a high yield – 590 and 575 g/m², respectively. The strongest influence on the formation of A. sativa yield was exerted by factor "year" – 83.84 %. During the years of research, index of environmental conditions (Ii) varied from –221 to +225. High resistance to stress was noted in cultivars '15317 ACOT', '15465 Zhorga', 'k-4173 353 AC M5' (from –0.64 to –0.73 g/m²). We identified variety samples of intensive type responsive to changes in environmental conditions: '15394 SW Tugerborg' (bi=1.25), '15429 Cwal' (bi=1.34), '15291 HETMAN' (bi=1.21). Other variety samples showed a weak reaction to changes in environmental conditions (bi=0.73-0.86). High general adaptive ability (GAA) was noted in variety samples '15465 Zhorga', '15394 SW Tugerborg', '15420 Cwal', 'k-4173 353 AC M5' (GAAi= from 51 to 29 g/m²). As a result of the analysis based on the factor "yield", we identified variety samples with the most optimal set of adaptability: '15465 Zhorga' (SAAi= 190; Sgi= 32.2; Kgi= 0.73), '4173 353 AC M5' (SAAi=177.9; Sgi= 30.9; Kgi= 0.64). High indicators of the selection value of genotypes (SVG) were noted in variety samples '1465 Zhorga' (SVGi = 365.45), 'k-4173 353 AC M5' (SVGi = 365.08), 'k-3940 Baiyan N 0.14' (SVGi = 322.43). Correlation analysis showed a reliable correlation of yield with general adaptive ability (r=0.99). For further work in adaptive breeding, variety samples '15465 Zhorga' and 'k-4173 353 AC M5' are of interest to breeders.*

Keywords: *oats (Avena sativa L.), variety sample, yield, index of environmental conditions, adaptability, stability, breeding value.*

Тулякова Марина Валентиновна, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства овса, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 612500, Россия, Кировская область, п. Фалёнки, ул. Тимирязева 3; e-mail: tulyakova1966@bk.ru.

Баталова Галина Аркадьевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, заведующая отделом селекции и семеноводства овса, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина 166 А; e-mail: g.batalova@mail.ru.

Салтыков Сергей Сергеевич младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства овса, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 612500, Россия, Кировская область, п. Фалёнки, ул. Тимирязева 3; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Пермякова Светлана Владимировна младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства овса, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 612500, Россия, Кировская область, п. Фалёнки, ул. Тимирязева 3; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Tulyakova Marina Valentinovna, senior researcher at the Laboratory of breeding and primary seed production of oats, Falenskaya Breeding Station – branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 3 Timiryazeva str., Falenki village, Kirov Region, 612500, Russia; e-mail: tulyakova1966@bk.ru.

Batalova Galina Arkadyevna, Dr. Sc. (Agr.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, head of the Department of breeding and seed production of oats; FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky; 166 A, Lenin str. Kirov, 610007, Russia; e-mail: g.batalova@mail.ru.

Saltykov Sergey Sergeevich, junior researcher at the Laboratory of breeding and primary seed production of oats, Falenskaya Breeding Station – branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 3 Timiryazeva str., Falenki village, Kirov Region, 612500, Russia; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Permyakova Svetlana Vladimirovna, junior researcher at the Laboratory of breeding and primary seed production of oats, Falenskaya Breeding Station – branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 3 Timiryazeva str., Falenki village, Kirov Region, 612500, Russia; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 10.02.2023.

Дата принятия к печати – 28.02.2023.

УДК 579.64:633.111.1:631.576.331.2

DOI: 10.5281/zenodo.7898552

EDN IMXDLQ

Чайковская Л. А., Якушева Н. Н., Овсиенко О. Л., Баранская М. И.

**ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ
СОВМЕСТНОМ ПРИМЕНЕНИИ МИКРОБНОГО ПРЕПАРАТА И
МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Известно, что для повышения урожайности и качества зерна злаковых культур применяют большие дозы минеральных удобрений, однако их внесение приводит к нежелательным эффектам, в частности загрязнению окружающей среды. Поэтому возникает проблема частичной замены минеральных удобрений альтернативными приемами, одним из которых является применение микробных препаратов в современных технологиях выращивания злаков. Цель исследований – изучение влияния совместного применения препарата «Фосфостим-Агро» (основа – бактерия *Lelliottia nitipressuralis* ССМ 32-3) и минерального удобрения «Аммофос» на продуктивность и качество зерна озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.): содержание клейковины, белка и аминокислот в условиях полевых опытов. Исследования проведены в 2016–2019 гг. на экспериментальном поле Агропромышленного колледжа Крымского Федерального Университета им. В. И. Вернадского (Симферопольский район), почва опытных делянок – чернозем южный карбонатный тяжелосуглинистый. Установлено, что наиболее высокие показатели зерновой продуктивности озимой пшеницы получены при совместном использовании «Фосфостим-Агро» (предпосевная инокуляция семян) и препарата «Аммофос» из расчета P_{30} . Отмечено достоверное увеличение зерновой продуктивности на 31,5 % по сравнению с контролем (без инокуляции). Выявлено также, что в зерне пшеницы возрастало содержание белка и клейковины: до 12,5 % и 28,0 % против 10,8 % и 21,2 % в контроле соответственно. Показано, что совместное применение микробного препарата «Фосфостим-Агро» и минерального удобрения Аммофос (P_{30}) способствовало накоплению суммарного содержания аминокислот в зерне пшеницы в количестве, эквивалентном варианту, где внесено минеральное удобрение из расчета P_{90} .

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., Фосфостим-Агро, Аммофос, клейковина, белок, аминокислоты.

Для цитирования: Чайковская Л. А., Якушева Н. Н., Овсиенко О. Л., Баранская М. И. Продуктивность и качество зерна озимой пшеницы при совместном применении микробного препарата и минерального удобрения // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 135–147. DOI: 10.5281/zenodo.7898552. EDN: IMXDLQ.

For citation: Chaikovskaya L. A., Yakusheva N. N., Ovsienko O. L., Baranskaya M. I. Yield and quality indicators of winter wheat grain in the context of combined use of a microbial preparation and mineral fertilizer // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No.1(33). P. 135–147. DOI: 10.5281/zenodo.7898552. EDN: IMXDLQ.

Введение

Пшеница (*Triticum aestivum* L.) – одна из важнейших мировых сельскохозяйственных культур и один из наиболее важных злаков в рационе человека, позволяющий решить вопросы продовольственного обеспечения

населения. Поэтому не теряет актуальности проблема повышения её урожайности и качества зерна. Известно, что для повышения урожайности и качества выращиваемых сельскохозяйственных культур необходимо применять большие дозы минеральных удобрений. Согласно исследованиям Торикова и соавт. [1], наибольшая прибавка урожайности зерна озимой пшеницы по сравнению с контролем (без использования агрохимикатов) получена на фоне минеральных удобрений, внесенных с осени ($N_{98}P_{64}K_{124}$), и двух подкормок: во время возобновления весенней вегетации и в начале фазы выхода в трубку из расчета N_{30} . Данный вариант внесения расчетных норм минеральных удобрений обеспечил получение урожайности свыше 5,6 т/га. Исследования, проведенные в Амурской области, свидетельствуют о том, что максимальная урожайность зерна яровой пшеницы сформировалась на повышенном фосфорном фоне (5,5–9,5 мг P_2O_5 /100 г почвы) при внесении $N_{60}P_{90}$ и N_{30} : увеличение по сравнению с контролем составило 23,2 и 23,6 % соответственно [2].

Однако внесение высоких доз минеральных удобрений, особенно в условиях экстенсивного сельскохозяйственного производства и преобладающих монокультурах, приводит к нежелательным эффектам, в частности загрязнению окружающей среды [3]. Поэтому возникает проблема их частичной замены альтернативными приемами, основанными на природных процессах самовозобновления. Одним из таких экологически безопасных и ресурсосберегающих элементов функционирования и устойчивого развития агроэкосистем является введение в современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур микробных препаратов [4–6]. В настоящее время известно достаточно большое количество препаратов на основе микроорганизмов, способствующих улучшению минерального питания растений и стимуляции их роста. В основе действия всех известных микробных препаратов лежат существующие в природе естественные явления азотфиксации и фосфатмобилизации, характерные для эпифитных и почвенных микроорганизмов [7–11]. Наиболее распространенные микробные препараты (на основе азотфиксирующих микроорганизмов), вносимые в качестве удобрений, существенно повышают продуктивность многих сельскохозяйственных культур: прибавка урожайности зерновых составляет в среднем 15–20 %, а овощных – 20–30 % [12, 13]. Необходимо отметить, что фосфор является не менее важным макроэлементом, чем азот. Широкое применение препаратов на основе микроорганизмов, способных трансформировать труднорастворимые фосфаты в доступные для растений формы, имеет не только экологический, но и экономический приоритет. Роль биологизации в технологиях выращивания сельскохозяйственных культур значительно возрастает в более сложных почвенно-климатических и погодных условиях [14–19].

Ценность пшеницы заключается в том, что её зерно отличается высоким содержанием белка (14–17 % и более) и углеводов (80 %), оно широко используется в хлебопекарной, макаронной, кондитерской промышленности. Среди показателей качества зерна озимой пшеницы особенное значение принадлежит содержанию клейковины – одному из наиболее важных хозяйственно ценных признаков. Клейковина определяет хлебопекарские свойства зерна: более высокое её содержание повышает качество хлеба. Учитывая то, что клейковина – это гидратированный белковый гель с незначительным включением веществ небелкового характера, её количество в тесте тесно связано с содержанием белка в зерне или муке [20, 21].

Как было отмечено выше, важнейшей характеристикой биологической ценности зерна является содержание белка и аминокислот. Белки выполняют

специфические функции в клетке: ферментативные, строительные, регуляторные и др. В качестве основного белоксодержащего сырья ведущая роль принадлежит зерновым злаковым культурам. В глобальном масштабе около 70 % потребности человечества в белках покрывает зерно. В России озимая пшеница – основная продовольственная культура, площади ее посева по годам варьируют в пределах 8–11 млн га и на ее долю приходится от 20 до 24 % валового сбора зерна. При изучении сортов озимых злаковых культур (пшеница, рожь и тритикале), произрастающих на территории лесостепи юго-востока Западной Сибири выявлено, что большинство из них не могут обеспечить потребности региона в полноценном белке, а значит, и биологически полноценном питании [22]. Показатели качества зерна пшеницы во многом зависят от наследственных особенностей сорта и также могут служить критериями при отборе наиболее перспективных линий на ранних этапах селекционного процесса. Так, в агроклиматических условиях Северного Кавказа проведены исследования по поиску исходного материала среди разнообразия генотипов озимой мягкой пшеницы с целью отбора наиболее перспективных линий при создании новых сортов для регионов с засушливым периодом налива зерна [23].

Аминокислоты – это структурные единицы белковых молекул, принимающие участие во всех процессах, происходящих в организме человека и животных. Аминокислотный состав используется как биохимический критерий биологической ценности кормов и пищевых продуктов (по суммарному содержанию незаменимых аминокислот). Одной из важных аминокислот является пролин, играющий ключевую роль как свободная аминокислота и как структурный компонент белков. Известно, что стрессовые условия способствуют его накоплению в растениях [24, 25]. Так, в ряде исследований приведены данные о повышенном содержании пролина в растениях при воздействии различных стрессов: засоления почвы [26], воздействия тяжелых металлов [27] и засухи [28–30], а также высоких и низких температур [31].

Исходя из вышесказанного, разработка экологически безопасных биологических способов выращивания растений с применением микробных препаратов, в частности на основе фосфатмобилизующих бактерий, для улучшения минерального питания растений, их урожайности и повышения качества получаемой продукции на почвах с недостаточным увлажнением является актуальной задачей.

Цель исследований – изучение влияния совместного применения микробного препарата «Фосфостим-Агро» (основа – фосфатмобилизующая бактерия *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3) и минерального удобрения «Аммофос» на продуктивность и качество зерна озимой пшеницы (*T. aestivum* L.): содержание клейковины, белка и аминокислот в почвенно-климатических условиях Крыма.

Материалы и методы исследований

Полевые опыты проведены в 2016–2019 гг. на экспериментальном поле Агропромышленного колледжа ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» (Симферопольский район). Почва опытных делянок – чернозем южный карбонатный среднесуглинистый, содержащий большое количество недоступной для растений влаги. Агрохимическая характеристика грунта: содержание гумуса – 2,5 %, подвижного фосфора и обменного калия – 2,6 и 25,0 мг/г почвы соответственно, рН почвенного раствора 7,0–7,2 ед.

Рельеф опытных делянок равнинный, они расположены в Предгорно-восточном агроклиматическом районе Крыма. Согласно данным многолетних наблюдений, агроклиматический регион характеризуется полузасушливым

климатом с теплым вегетационным периодом и мягкой зимой. Среднегодовая сумма осадков составляет 490 мм, из них 270 мм выпадает в течение вегетационного периода. В период исследований погодные условия были экстремальными: теплая и сухая осень с недостатком влаги обусловили неординарные условия для посева и вегетации озимой пшеницы. Повышенный температурный режим, засуха, незначительное количество осадков во время вегетации (апрель-июнь) значительно отличались от средних многолетних показателей, что ускорило развитие растений и снизило их продуктивность.

Озимую пшеницу выращивали на четырех фонах: без внесения минеральных удобрений (I) и с внесением минерального удобрения «Аммофос» из расчета P₃₀ (II), P₆₀ (III), P₉₀. (IV). Площадь каждой делянки 1500 м², повторность опыта четырехкратная. Схема опытов на каждом фоне включала следующие варианты: контроль (обработка семян водой) и предпосевная инокуляция семян препаратом «Фосфостим-Агро». Микробный препарат применяли в виде водной суспензии, содержащей клетки фосфатмобилизующей бактерии *Lelliottia nimipressuralis* ВКПМВ-12783, с титром 1,0–2,0×10¹⁰ клеток/мл в дозе 2 % от массы семян [32].

Определение показателей качества зерна (содержание белка и клейковины) осуществляли согласно ГОСТ Р 54478: Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице и ГОСТ 10846-91: Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. Анализ полного аминокислотного состава белков зерна озимой пшеницы проведен методом полного кислотного гидролиза при помощи 6N HCl и количественного определения всех аминокислот в гидролизате на биохимическом анализаторе «Hitachi». Определение в зерне аминокислот, содержащих серу (S): метионина, цистеина и цистина проведено по методике [33], пролина – по методу [34].

Полевые опыты проведены согласно общепринятым методикам [35], статистическая обработка полученных результатов – с использованием пакета программ Statistica.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что применение минеральных удобрений способствовало повышению урожайности озимой пшеницы до 3,78 (II) и 4,08 (III, IV) т/га против 2,55 т/га (I). Данные по зерновой продуктивности озимой пшеницы в условиях полевых экспериментов представлены на рисунке 1.

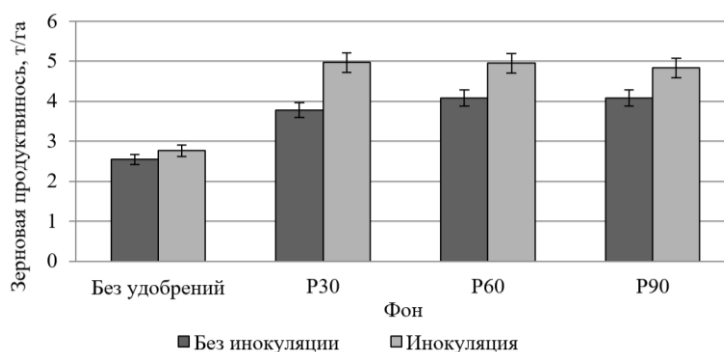


Рисунок 1 – Зерновая продуктивность озимой пшеницы (среднее за 2016–2019 гг.)

Анализ полученных результатов показал, что применение препарата «Фосфостим-Агро» для предпосевной обработки семян является эффективным приемом повышения зерновой продуктивности озимой пшеницы. Она возростала по сравнению с вариантами без инокуляции семян на 0,2–1,2 т/га (8–31 %) в

зависимости от фона удобрений. Однако наиболее высокие показатели урожайности озимой пшеницы отмечены при совместном применении препаратов «Аммофос» из расчета P₃₀ и «Фосфостим-Агро».

Таким образом, результаты трехлетних полевых исследований показали перспективу совместного применения микробного препарата «Фосфостим-Агро» и удобрения «Аммофос» из расчета P₃₀ при выращивании озимой пшеницы в агроклиматических условиях Крыма.

На рисунке 2 представлены результаты содержания клейковины в зерне озимой пшеницы. Наши исследования свидетельствуют о позитивном влиянии высоких доз минеральных удобрений на содержание клейковины в зерне пшеницы: на фоне P₆₀ (III) и P₉₀ (IV) показатели возрастали до 27,3 % против 19,2 % в контроле (I).

Количество клейковины в зерне возрастало также в случае применения микробного препарата для предпосевной инокуляции семян: как при совместном применении с минеральными удобрениями, так и на участках без их внесения. Однако наибольшая эффективность «Фосфостим-Агро» отмечена при совместном применении с минеральным удобрением из расчета P₃₀ (II): содержание клейковины в зерне возрастало до 28,0 % против 21,2 % в контроле (без инокуляции).

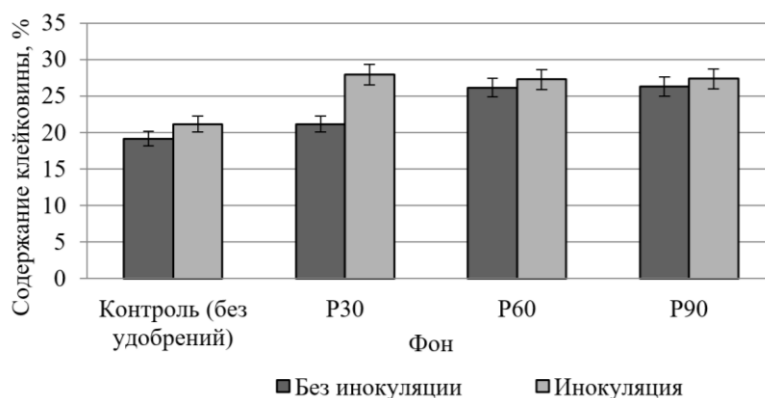


Рисунок 2 – Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы (среднее за 2016–2019 гг.)

Результаты наших опытов показали, что содержание белка в зерне озимой пшеницы зависит как от дозы внесения минеральных удобрений, так и от применения микробного препарата (рисунок 3).

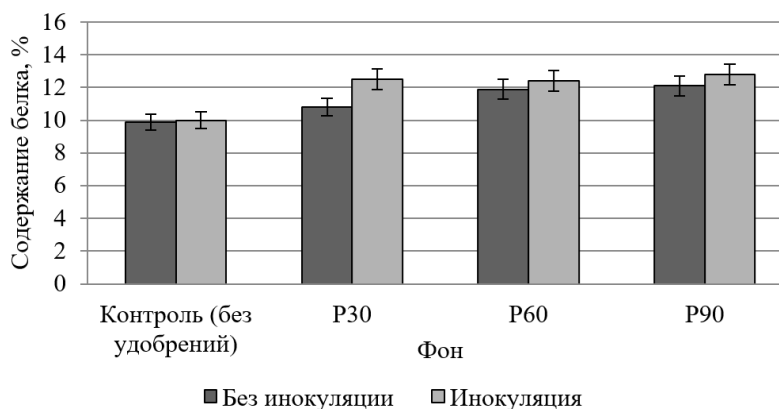


Рисунок 3 – Содержание белка в зерне озимой пшеницы (среднее за 2016–2019 гг.)

Внесение «Аммофоса» из расчета P₃₀ (II), P₆₀ (III) и P₉₀ (IV) способствовало увеличению содержания протеина в зерне до 12,4 % 12,5 % и 12,8 % против 9,9 % на участке без удобрения. Однако, наиболее благоприятной дозой минеральных удобрений, обеспечивающей позитивный эффект предпосевной бактериализации семян, является P₃₀. Так, содержание белка в зерне при использовании «Фосфостим-Агро» в этих условиях возросло до 12,5 % против 10,8 % в контроле (без инокуляции).

Итак, применение микробного препарата «Фосфостим-Агро» для предпосевной инокуляции семян озимой пшеницы в почвенно-климатических условиях Крыма способствует повышению качества зерна (увеличение содержания белка и клейковины). Установлено, что наиболее благоприятной дозой минеральных удобрений, обеспечивающей позитивный эффект препарата «Фосфостим-Агро», является их применение из расчета P₃₀: содержание белка в зерне возросло до 12,5 %, клейковины – до 28,0 % против 10,8 % и 21,2 % в контроле соответственно.

Результаты, полученные в наших экспериментах, показали также положительное воздействие совместного применения «Фосфостим-Агро» и «Аммофоса» на аминокислотный состав растительных белков в зерне озимой пшеницы (таблица 1). Выявлено, что применение минеральных удобрений способствовало возрастанию количества каждой из аминокислот в зерне пшеницы: как заменимых, так и незаменимых, что свидетельствует о повышении качества продукции. Однако, наибольшее увеличение содержания аминокислот в зерне пшеницы произошло за счет заменимых аминокислот, а именно глутаминовой: ее содержание в зерне бактеризованных растений (P₃₀) возросло в 1,7 раза против контроля и составляло 4, 815 и 2,760 мг/100 мг исходного вещества соответственно. Следует отметить, что при совместном применении микробного препарата и внесении минеральных удобрений из расчета P₃₀ содержание аминокислот в зерне превышало не только значения контроля (без удобрения), но и варианты с внесением высоких доз удобрений (P₆₀ и P₉₀).

Таблица 1 – Содержание аминокислот в зерне озимой пшеницы, мг/100 мг исходного вещества (среднее за 2016–2019 гг.)

Аминокислота	Вариант				
	контроль (без удобрений)	P ₃₀		P ₆₀	P ₉₀
		без инокуляции	инокуляция		
незаменимые аминокислоты, в том числе:					
Валин	0,236	0,268	0,317	0,287	0,293
Изолейцин	0,173	0,202	0,227	0,208	0,227
Лейцин	0,502	0,579	0,745	0,641	0,667
Лизин	0,183	0,209	0,250	0,215	0,221
Метионин	0,189	0,197	0,189	0,243	0,275
Треонин	0,177	0,256	0,242	0,209	0,215
Триптофан	0,128	0,147	0,136	0,154	0,152
Фенилаланин	0,226	0,262	0,314	0,289	0,288
заменимые аминокислоты, в том числе:					
Аланин	0,185	0,216	0,244	0,214	0,226
Аргинин	0,256	0,324	0,327	0,300	0,307
Аспарагиновая кислота	0,340	0,369	0,469	0,380	0,412
Гистидин	0,113	0,134	0,164	0,139	0,147
Глицин	0,292	0,339	0,421	0,366	0,377
Глутаминовая кислота	2,760	3,324	4,815	3,893	4,171
Цистин	0,154	0,172	0,170	0,178	0,202
Серин	0,301	0,339	0,457	0,382	0,400
Тирозин	0,134	0,149	0,168	0,160	0,174
Сумма	6,349	7,486	9,655	8,258	8,754

При совместном применении «Фосфостим-Агро» и «Аммофоса» из расчета P₃₀ выявлена тенденция к возрастанию суммарного содержания аминокислот в зерне пшеницы: их количество достигало 9,655 мг/100 мг исходного вещества и превышало на 52 %, 29 %, 17 % и 10 % показатели контроля (без удобрений), P₃₀, P₆₀ и P₉₀ соответственно.

Как было отмечено выше, аминокислота пролин играет важную роль в адаптации растений к различным стресс-факторам и в частности к засухе, что является весьма актуальным для климатических условий Крыма. Результаты наших исследований показали, что внесение минеральных удобрений способствует снижению содержания свободного пролина в зерне озимой пшеницы по сравнению с контролем: с 4,3 мг/% до 3,3 мг/% (рисунок 4). Применение «Фосфостим-Агро» для предпосевной инокуляции семян также уменьшало накопление свободного пролина в зерне пшеницы как в контрольном варианте (до 3,9 мг/%), так и при совмещении с «Аммофосом» – до 3,5–3,6 мг/%.

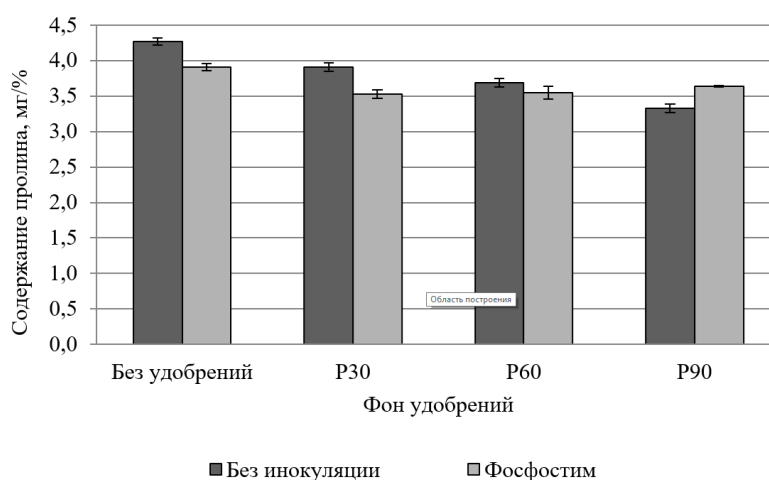


Рисунок 4 – Содержание свободного пролина в зерне озимой пшеницы (среднее за 2016–2019 гг.)

Результаты статистического анализа дают возможность предположить, что возрастание содержания свободного пролина в зерне озимой пшеницы вследствие стресса, оказываемого почвенно-климатическим условиями, отрицательно сказывалось на продуктивности растений и качестве урожая. Так, при повышении уровня содержания свободного пролина в зерне отмечается уменьшение содержания протеина ($r = -0,69$) и клейковины ($r = -0,70$), а также снижение зерновой продуктивности пшеницы озимой ($r = -0,72$): связь обратная средней силы (таблица 2). Также выявлено, что повышение содержания протеина в зерне озимой пшеницы способствовало возрастанию содержания клейковины в пшенице: связь прямая, тесная ($r = 0,95$). Нами установлена прямая, сильная связь между зерновой продуктивностью и качеством получаемой продукции: коэффициент корреляции равен 0,92.

Таблица 2 – Корреляционные зависимости между показателями качества зерна, продуктивностью озимой пшеницы и содержанием свободного пролина

Показатель	Свободный пролин, мг/%	Белок, %	Клейковина, %
Белок, %	-0,69	–	–
Клейковина, %	-0,70	0,95	–
Зерновая продуктивность, т/га	-0,72	0,92	0,92

Похожие результаты воздействия микробных препаратов на качество зерновой продукции отмечены и в литературных источниках. Показано, что применение на дерново-подзолистой супесчаной почве препарата «Калиплант» способствовало повышению содержания белка в зерне озимых зерновых культур (ржи и тритикале – на 0,4–0,5 % и 0,7–1,3 % соответственно). Отмечено также улучшение аминокислотного состава белка: для озимой ржи *skor* критических аминокислот возрастал на 5–8 %, незаменимых – на 7–11 %; озимого тритикале – на 2–7 и 2–6 % соответственно [36].

В условиях юго-востока Западной Сибири проведена оценка влияния диазотрофной предпосевной бактериализации на биологическую и пищевую ценность зерна ячменя. Бактеризацию семян перед посевом осуществляли торфяной формой биопрепарата «Ризоагрин-Б» в количестве 600 г на гектарную норму (4,5 млн всхожих семян на 1 га). Установлено, что в зерне ячменя, полученного от бактеризованных растений, увеличилось содержание белка на 1,9 % (до 13,70 %) и сумма аминокислот – на 23,3 % (до 10,79 г/100 г), а также содержание всех незаменимых аминокислот [37].

Таким образом, совместное применение микробного препарата «Фосфостим-Агро» (основа *L. nimipressuralis* ССМ 32-3) для предпосевной инокуляции семян и минерального удобрения «Аммофос» (Р₃₀) способствует накоплению аминокислот в зерне пшеницы в количестве, эквивалентном внесению удобрений из расчета Р₉₀. Проведенные исследования стали основой для получения патента на изобретение [38].

Выводы

Установлено положительное влияние микробного препарата «Фосфостим-Агро» (основа *L. nimipressuralis* ССМ 32-3) на урожайность и качественные показатели зерна озимой пшеницы: увеличение содержания белка, клейковины, накопление аминокислот. Совместное применение препарата «Фосфостим-Агро» для предпосевной инокуляции семян озимой пшеницы и стартовое внесение минерального удобрения «Аммофос» из расчета Р₃₀ позволило повысить зерновую продуктивность и качество урожая озимой пшеницы в почвенно-климатических условиях Крыма. При этом существенно снижается норма внесения минеральных удобрений, что ведет к снижению материальных затрат и уменьшению антропогенной нагрузки на окружающую среду. Установлено, что наиболее высокие показатели получены при совместном применении микробного препарата и «Аммофоса» (из расчета Р₃₀): отмечено достоверное увеличение зерновой продуктивности озимой пшеницы на 31,5 % по сравнению с контролем. При этом в зерне возрастало содержание белка и клейковины: до 12,5 % и 28,0 % против 10,8 % и 21,2 % в контроле соответственно. Выявлено также, что совместное применение «Фосфостим-Агро» и удобрения «Аммофос» (Р₃₀) способствовало накоплению суммарного содержания аминокислот в зерне пшеницы в количестве эквивалентном варианту, где внесено минеральное удобрений из расчета Р₉₀.

Литература

1. Ториков В. Е., Мельникова О. В., Мамеев В. В., Ториков В. В., Осипов А. А. Влияние системы удобрений на агроэкологические свойства почвы, урожайность, содержание сырой клейковины, аминокислотного и элементного состава в зерне мягкой озимой пшеницы // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 1(46). С. 8–20.
2. Кубасов И. А. Формирование продуктивности и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от степени обеспеченности луговой черноземовидной почвы подвижным фосфором // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4(32). С. 122–130. EDN: AMSJMF.
3. Биорегуляция микробно-растительных систем: монография // Под ред. Иутинской Г. А., Пономаренко С. П. Киев: Ничлава, 2010. 464 с.

4. Завалин А. А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: Издательство ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2005. 302 с.
5. Тихонович И. А., Проворов Н. А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 3–9.
6. Тихонович И. А., Завалин А. А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации в РФ // Плодородие. 2016. № 5(92). С. 28–32.
7. Mostafiz S. B., Rahman M., Md. Mizanur, Rahman Md. Mostafizur. Biotechnology: role of microbes in sustainable agriculture and environmental health // The Internet Journal of Microbiology. 2012. Vol. 10(1). P. 1937–8289. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ispub.com/IJMB/10/1/14136> (дата обращения 30.03.2022).
8. Antoun H. Beneficial microorganisms for the sustainable use of phosphates in agriculture // Procedia Engineering. 2012. Vol. 46. P. 62–67. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.09.446.
9. Jain P., Khichi D. S. Phosphate solubilizing microorganism (PSM): an ecofriendly biofertilizer and pollution manager // Journal of Dynamics in Agricultural Research. 2014. Vol. 1(4). P. 23–28.
10. Чеботар В. К., Завалин А. А., Кипрушкина Е. И. Эффективность применения биопрепарата «Экстрасол». М.: Издательский дом ВНИИ Агрохимии, 2007. 216 с.
11. Завалин А. А., Кожемяков А. П. Новые технологии производства и применения биопрепаратов комплексного действия. Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2010. 64 с.
12. Кожемяков А. П., Лактионов Ю. В., Попова Т. А., Орлова А. Г., Кокорина А. Л., Вайшла О. Б., Агафонов Е. В., Гущин С. А., Чураков А. А., Яковлева М. Т. Агротехнологические основы создания усовершенствованных форм микробных биопрепаратов для земледелия // Сельскохозяйственная биология. 2015. Вып. 50(3). С. 369–376. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.3.369.
13. Іутинська Г. О., Білявська Л. О., Титова Л. В., Леонова Н. О., Ямборко Н. А., Петрук Т. В., Вознюк С. В., Литовченко А. М. Мікробні препарати для рослинництва. Методичні рекомендації. Київ: Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, 2017. 84 с.
14. Sharma S. B., Sayyed R. Z., Trivedi M. H., Gobi T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for the managing phosphorus deficiency in agricultural soils // Springer Plus. 2013. Vol. 2(1). P. 587. DOI: 10.1186/2193-1801-2-587.
15. Khan M. S., Zaidi A., Musarrat J. Phosphate solubilizing microorganisms: principles and application of microphos technology. Springer International Publishing, 2014. 307 p. DOI: 10.1007/978-3-319-08216-5.
16. Selvi K. B., Paul J. J. A., Vijaya V., Saraswathi K. Analyzing the efficacy of phosphate solubilizing microorganisms by enrichment culture techniques // Biochemistry and Molecular Biology Journal. 2017. Vol. 3. P. 1. DOI: 10.21767/2471-8084.100029.
17. 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.
18. Чайковская Л. А., Ключенко В. В., Баранская М. И., Овсиенко О. Л. Фосфатмобилизующие бактерии в агроценозах Крыма: монография // Под ред. Чайковской Л. А. Симферополь: “АРИАЛ”, 2018. 156 с.
19. Kalayu G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers // International Journal of Agronomy. 2019. Vol. 2019. Art. No. 4917256. DOI: 10.1155/2019/4917256.
20. Kozulina N. S., Fomina L. V., Shmeleva Zh. N. The extreme factors influence on the grain quality technological indicators of spring wheat of Siberian selection // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, 2020. Vol. 548. Art. No. 022060. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022060.
21. Мейлиев А. Х. Т., Тошметова Ф. Н. Отбор сортов твёрдой пшеницы преобладающих хозяйственно-ценными признаками // Life Sciences and Agriculture. 2020. № 2–3(7). С. 38–41.
22. Кондратенко Е. П., Константинова О. Б., Соболева О. М., Ижмулкина Е. А., Вербицкая Н. В., Сухих А. С. Содержание белка и аминокислот в зерне озимых культур, произрастающих на территории Лесостепи юго-востока западной Сибири // Химия растительного сырья. 2015. № 3. С. 143–150. DOI: 10.14258/jcpr.201503754.
23. Галушко Н. А., Соколенко Н. И. Важнейшие критерии отбора на качество зерна в селекции озимой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2021. №. 4(28). С. 50–57. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-50-57.
24. Ибрагимова С. С., Горелова В. В., Кочетов А. В., Шумный В. К. Роль различных метаболитов в формировании стрессоустойчивости растений // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Биология, клиническая медицина. 2010. Т. 8(3). С. 98–103.

25. Szabados L., Saviouré A. Proline: a multifunctional amino acid // Trends Plant Sci. 2010. Vol. 15(2). P. 89–97.
26. Кривобочек В. Г., Стаценко А. П., Тразанова Е. А., Курьшев И. А. Свободный пролин – биохимический показатель солеустойчивости растений // Аграрный научный журнал. 2017. №1. С. 16–19.
27. Абилова Г. А. Влияние ионов кадмия и свинца на рост и содержание пролина в растениях тритикале (*Triticum secale* Wittm.) // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 11. С. 27–32. DOI: 10.17076/eb424.
28. Стаценко А. П., Капустин Д. А., Юрова Ю. А. Стресс-индуцированный пролин в растениях пшеницы в условиях засухи // Сборник статей XII Международной научно-практической конференции «Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России». Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2014. С. 85–87.
29. Аллагулова Ч. Р., Ласточкина О. В. Снижение уровня окислительного стресса в растениях пшеницы под влиянием эндофитных бактерий в условиях засухи // Экобиотех. 2020. Т. 3. № 2. С. 129–134. DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-2-129-134.
30. Lastochkina O., Aliniaefard S., Seifikalhor M. [et al.]. Plant growth-promoting bacteria: biotic strategy to cope with abiotic stresses in wheat // In book: Wheat Production in Changing Environments. Ed. by M. Hasanuzzaman, K. Nahar, Md. A. Hossain. Springer, Singapore, 2019. P. 579–614. DOI: 10.1007/978-981-13-6883-7_23.
31. Кривобочек В. Г., Стаценко А. П., Городничев А. А. Пролиновый индекс как оценочный показатель морозостойкости озимой пшеницы // Вестник Саратовского государственного агроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2012. № 4. С. 15–16.
32. Патент РФ № 2676926. Фосфатмобилизующий штамм почвенных бактерий *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3 и биопрепарат на его основе для оптимизации минерального питания растений, стимуляции их роста и повышения урожайности // Авторы: Чайковская Л. А., Мельничук Т. Н., Каменева И. А., Баранская М. И., Овсиенко О. Л. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». 2019. Бюлл. № 2. 12 с.
33. Определение серосодержащих аминокислот и общей серы в растительном материале: методические рекомендации // Сост.: Зелинский В. Г., Ревякина Л. Я., Выхристенко Л. П. Одесса: ВСГИ, 1988. 16 с.
34. Bates L. S., Waldren R.P., Teare I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies // Plant Soil. 1973. No. 39. P. 205–207. DOI: 10.1007/BF00018060.
35. Доспехов Б. А. Методы полевых исследований. М.: Книга по требованию, 2012. 351 с.
36. Лапа В. В., Михайловская Н. А., Барашенко Т. Б. Эффективность бактериального удобрения Калиплант на дерново-подзолистой супесчаной почве с разной обеспеченностью подвижным калием // Агрохимия. 2016. № 6. С. 29–38.
37. Соболева О. М., Кондратенко Е. П., Сухих А. С. Повышение биологической ценности зерна ячменя при диазотрофной бактериализации // Достижения науки и техники АПК. 2019. Вып. 33. №. 12. С. 98–101. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11221.
38. Патент РФ № 20760750. Способ выращивания озимой пшеницы в условиях южных регионов России // Авторы: Чайковская Л. А., Ключенко В. В., Баранская М. И., Овсиенко О. Л., Клименко Н. Н. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». 2021. Бюлл. № 34. 12 с.

References

1. Torikov V. E., Melnikova O. V., Mameev V. V., Torikov V. V., Osipov A. A. Influence of fertilizer on agroecological soil properties, yield, crude gluten, amino acid and elemental composition in the grain of soft winter wheat // The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2016. No. 1(46). P. 8–20.
2. Kubasov I. A. Formation of productivity and grain quality of spring wheat depending on the degree of provision of meadow chernozem soil with mobile phosphorus // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 4(32). P. 122–130. EDN: AMSJMF.
3. Bioregulation of microbial-plant systems: monograph // Ed. by Iutynskaya G. A., Ponomarenko S. P. Kyiv: Nichlava, 2010. 464 p.
4. Zavalin A. A. Biopreparations, fertilizers and harvest. Moscow: All-Russian scientific-research institute of agrochemistry named by D. N. Pryanishnikov Publ., 2005. 302 p.
5. Tikhonovich I. A., Provorov N. A. Agricultural microbiology as the basis of ecologically sustainable agriculture: fundamental and applied aspects // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2011. No. 3. 3–9.
6. Tikhonovich I. A., Zavalin A. A. Application potential of nitrogen-fixing and phytostimulating microorganisms for increasing the efficiency of the agroindustrial complex and improving the agroecological situation in Russian Federation // Plodorodie. 2016. Vol. 5(92). P. 28–32.

7. Mostafiz S. B., Rahman Md. Mizanur, Rahman Md. Mostafizur. Biotechnology: role of microbes in sustainable agriculture and environmental health // The Internet Journal of Microbiology. 2012. Vol. 10 (1). P. 1937–8289. [Electronic resource]. Access point: <https://ispub.com/IJMB/10/1/14136> (reference's date 30.03.2022).
8. Antoun H. Beneficial microorganisms for the sustainable use of phosphates in agriculture // Procedia Engineering. 2012. Vol. 46. P. 62–67. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.09.446.
9. Jain P., Khichi D. S. Phosphate solubilizing microorganism (PSM): an ecofriendly biofertilizer and pollution manager // Journal of Dynamics in Agricultural Research. 2014. Vol. 1(4). P.23–28.
10. Chebotar V. K., Zavalin A. A., Kiprushkina E. I. Efficiency of application of biopreparation Extrasol. Moscow: Publishing house of All Russia Research Institute of Agrochemistry, 2007. 216 p.
11. Zavalin A. A., Kozhemyakov A. P. New technologies and complex biological products application. Saint Petersburg: KHIMIZDAT, 2010. 64 p.
12. Kozhemyakov A. P., Laktionov Yu. V., Popova T. A., Orlova A. G., Kokorina A. L., Vaishlya O. B., Agafonov E. V., Guzhvin S. A., Churakov A. A., Yakovleva M. T. The scientific basis for the creation of new forms of microbial biochemical // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2015. Vol. 50(3). 369–376. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.3.369.
13. Iutynska G. O., Biliavska L. O., Titova L. V., Leonova N. O., Yamborko N. A., Petruk T. V., Vozniuk S. V., Litovchenko A. M. Microbial bioformulations for plant growing. Methodical recommendations. Kyiv: Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of NAS of Ukraine, 2017. 84 p.
14. Sharma S. B., Sayyed R. Z., Trivedi M. H., Gobi T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils // Springer Plus. 2013. Vol. 2(1). P. 587. DOI: 10.1186/2193-1801-2-587.
15. Khan M. S., Zaidi A., Musarrat J. Phosphate solubilizing microorganisms: principles and application of microphos technology. Springer International Publishing, 2014. 307 p. DOI: 10.1007/978-3-319-08216-5.
16. Selvi K. B., Paul J. J. A., Vijaya V., Saraswathi K. Analyzing the efficacy of phosphate solubilizing microorganisms by enrichment culture techniques // Biochemistry and Molecular Biology Journal. 2017. Vol. 3. P. 1. DOI: 10.21767/2471-8084.100029.
17. 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.
18. Chaikovskaya L. A., Klyuchenko V. V., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L. Phosphate-mobilizing bacteria in agrocenoses of the Crimea: monography // Ed. by Chaikovskaya L. A. Simferopol: Publishing house "ARIAL", 2018. 156 p.
19. Kalayu G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers // International Journal of Agronomy. 2019. Vol. 2019. Art. No. 4917256. DOI: 10.1155/2019/4917256.
20. Kozulina N. S., Fomina L. V., Shmeleva Zh. N. The extreme factors influence on the grain quality technological indicators of spring wheat of Siberian selection // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. 2020. Vol. 548. Art. No. 022060. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022060.
21. Meiliev A. Kh., Toshmetova F. N. Selection of durum wheat varieties with predominant economically valuable traits // Life Sciences and Agriculture. 2020. No. 2–3 (7). P. 38–41.
22. Kondratenko E. P., Konstantinova O. B., Soboleva O. M., Izmulkina E. A., Verbitskaya N. V., Sukhikh A. S. The content of protein and amino acids in grain of winter crops growing on the territory of forest-steppe south-east of western Siberia // Khimija rastitel'nogo syr'ja (Chemistry of plant raw material). 2015. No. 3. P. 143–150. DOI: 10.14258/jcprm.201503754.
23. Galushko N. A., Sokolenko N. I. The most important selection criteria in winter wheat breeding for grain quality // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 50–57. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-50-57.
24. Ibragimova S. S., Gorelova V. V., Kochetov A.V., Shumny V. K. Role of plant metabolites in mechanisms of stress tolerance // Bull. of Novosibirsk State University. Series: Biology, Clinical Medicine. 2010. Vol. 8(3). P. 98–103.
25. Szabados L., Savouré A. Proline: a multifunctional amino acid // Trends in plant science. 2010. Vol. 15(2). P. 89–97. DOI: 10.1016/j.tplants.2009.11.009.
26. Krivobochechek V. G., Statsenko A. P., Trazanova E. A., Kuryshv I. A. Free proline – biochemical indicator of plant salt tolerance //The Agrarian Scientific Journal. 2017. No. 1. P. 16–19.
27. Abilova G. A. Effect of cadmium and lead ions on the growth and content of proline in plants of triticale (*Triticosecale* Wittm.) // Proceedings of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences. 2016. No. 11. P. 27–32. DOI: 10.17076/eb424.

28. Statsenko A. P., Kapustin D. A., Yurova Yu. A. Stress-induced proline in wheat plants under drought // Collection of articles of the XII International Scientific and Practical Conference “Natural resource potential, ecology and sustainable development of Russian regions”. Penza: Penza State Agrarian University, 2014. P. 85–87.
29. Allagulova Ch. R., Lastochkina O. V. Alleviation of drought-induced oxidative stress in wheat plants under the influence of endophytic bacteria // *Ecobiotech.* 2020. Vol. 3(2). P. 129–134. DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-2-129-134.
30. Lastochkina O., Aliniaiefard S., Seifikalhor M., Yuldashev R., Pusenkova L., Garipova S. Plant growth-promoting bacteria: biotic strategy to cope with abiotic stresses in wheat // In book: *Wheat Production in Changing Environments*. Ed. by M. Hasanuzzaman, K. Nahar, Md. A. Hossain. Springer Singapore, 2019. P. 579–614. DOI: 10.1007/978-981-13-6883-7_23.
31. Krivobochev V. G., Statsenko A. P., Gorodnichev A. A. Proline index as an estimate of frost resistance winter wheat // *Bull. of Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov.* 2012. No. 4. P. 15–16.
32. Patent RF No. 2676926. Phosphate-mobilizing strains of soil bacteria *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3 and biopreparation on its basis for the optimization of mineral nutrition of plants, stimulates their growth and increase yields application // Authors: Chaikovskaya L. A., Melnichuk T. N., Kameneva I. A., Baranskaya M. I., Ovsienko, O.L. Patentee: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. 2019. Bul. No. 2. 12 p.
33. Determination of sulfur-containing amino acids and total sulfur in plant material: methodological recommendations // Compilers: Zelinsky V. G., Revyakina L. Ya., Vykhristenko L. P. Odessa: All-Union Selection and Genetic Institute, 1988. 16 p.
34. Bates L. S., Waldren R.P., Teare I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studios // *Plant Soil.* 1973. No. 39. P. 205–207. DOI: 10.1007/BF00018060.
35. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 351 p.
36. Lapa V. V., Mikhailovskaya N. A., Barashenko T. B. The effectiveness of bacterial fertilizer Kaliplant on soddy-podzolic sandy loam soil with different sufficiency of moving potassium // *Agrohimia.* 2016. No. 6. P. 29–38.
37. Soboleva O. M., Kondratenko E. P., Sukhikh A. S. Increasing of the biological value of barley grain during diazotrophic inoculation // *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex.* 2019. Vol. 33(12). P. 98–101. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11221.
38. Patent RF No. 20760750. Method for growing winter wheat in the conditions of the southern regions of Russia // Authors: Chaikovskaya L. A., Klyuchenko V. V., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L., Klimenko N. N. Patentee: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. 2021. Bul. No.34. 12 p.

UDC 579.64:633.111.1:631.576.331.2

Chaikovskaya L. A., Iakusheva N. N., Ovsienko O. L., Baranskaya M. I.
**YIELD AND QUALITY INDICATORS OF WINTER WHEAT GRAIN IN THE
CONTEXT OF COMBINED USE OF A MICROBIAL PREPARATION AND
MINERAL FERTILIZER**

Summary. *It is a commonly known fact that large doses of mineral fertilizers increase grain crops' yield and quality. However, fertilization leads to undesirable effects – in particular, environmental pollution. This creates a need to replace mineral fertilizers, at least partially, with alternative methods. One of such methods is the use of microbial preparations in modern technologies for growing cereals. This research, therefore, aimed to study the effect of combined use of the microbial preparation “Phosphostim-Agro” (based on bacterium *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3) and mineral fertilizer Ammophos on winter wheat grain yield and quality indicators, namely the content of gluten, protein and amino acids under conditions of field experiments. The studies were conducted in 2016–2019 at the experimental fields of Agro-Industrial College – structural unit of V.I. Vernadsky Crimean Federal University (Simferopolsky district). Soil of the experimental plot – chernozem southern calcareous heavy loamy. The analysis of the field experiments showed that the combined use of the microbial preparation “Phosphostim-Agro” for presowing seed inoculation and mineral fertilizers Ammophos at the rate of P_{30} contributed to higher values of grain productivity: they reliably exceeded the control*

(without inoculation) by 31.5 %. The content of protein and gluten in the grain also increased up to 12.5 % and 28.0 %, while in the control, these figures were 10.8 % and 21.2 %, respectively. Combined use of the microbial preparation “Phosphostim Agro” and mineral fertilizers Ammophos at the rate of P_{30} contributed to the accumulation of the total content of amino acids in wheat grain in an amount equivalent to the application of fertilizers at the rate of P_{90} .

Keywords: *Triticum aestivum L.*, “Phosphostim-Agro”, Ammophos, gluten, protein, amino acids.

Чайковская Людмила Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295053, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Якушева Нина Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ninaklymenko@yandex.ru.

Овсиенко Ольга Леонидовна, старший научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295053, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: olovsienko@mail.ru.

Баранская Марина Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295053, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: baranskaya@rambler.ru.

Chaikovskaya Ludmila Aleksandrovna, Dr. Sc. (Agr.), senior researcher, chief researcher, Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295053, Russia; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Iakusheva Nina Nikolaevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295000, Russia; e-mail: ninaklymenko@yandex.ru.

Ovsienko Olga Leonidovna, senior researcher, Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295053, Russia; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Baranskaya Marina Ivanovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295053, Russia; e-mail: baranskaya@rambler.ru.

Дата поступления в редакцию – 25.12.2022.

Дата принятия к печати – 20.02.2023.

УДК 633.16:631.527

DOI: 10.5281/zenodo.7898562

EDN CVBSGG

Юсова О. А., Николаев П. Н.

СЕЛЕКЦИЯ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО ЗЕРНА

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

Реферат. Для производства высококачественного зерна необходимым условием является создание новых сортов с высокими продуктивностью и качеством. Цель исследований – оценка сортообразцов ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) коллекционного питомника для выделения наиболее перспективных в селекции на качество зерна. Представлены результаты исследований 48 сортообразцов коллекционного питомника по урожайности, содержанию в зерне белка, крахмала и сырого жира за период 2019–2021 гг. Исследования проведены на делянках площадью 2 м² в четырехкратной повторности, при норме высева 4 млн всхожих зерен/га. Стандартом выступал сорт Омский 95 (селекции Омского АНЦ), который в 2006 г. включен в Госреестр РФ. В коллекционном питомнике доля образцов, превышающих стандарт по урожайности, содержанию в зерне белка и сырого жира составила всего 13–14 %, содержанию крахмала – 60 %. Повышенная изменчивость исследуемых показателей ($C_v > 20$ %) означает широкие возможности для проведения отборов по максимальной выраженности признаков. Основное влияние на формирование признаков оказывали условия года (доля фактора «год» варьировала от 50,5 до 90,7 %). В результате проведенных исследований выделены наиболее перспективные, отличающиеся комплексом показателей качества зерна сортообразцы: *Поспех*, *Tercel*, *Issota* характеризуются повышенной урожайностью (+0,62–1,66 г/м² к St.), содержанием в зерне белка (+0,7–1,9 % к St.), крахмала (+1,5–5,9 % к St.) и сырого жира (+0,6–1,3 % к St.). Сортообразец *Sloop SA* характеризовался прибавкой по урожайности (+0,79 г/м² к St.), повышенным содержанием белка (+0,6 % к St.) и сырого жира (+ 0,5 % к St.). Сортообразец *Соборный*: урожайность – +0,72 г/м² к St., содержание белка – +1,6 % к St., крахмала – +3,3 % к St. Сортообразец *Эвергран*: урожайность – +0,66 г/м² к St., содержание крахмала – +2,7 % к St., сырого жира – +0,7 % к St.

Ключевые слова: ячмень яровой (*Hordeum vulgare* L.), коллекция, качество зерна, продуктивность, пластичность, стабильность.

Для цитирования: Юсова О. А., Николаев П. Н. Селекция ярового ячменя на высокое качество зерна // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 148–157. DOI: 10.5281/zenodo.7898562. EDN: CVBSGG.

For citation: Yusova O. A., Nikolaev P. N. Spring barley breeding to improve grain quality indicators // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(33). P. 148–157. DOI: 10.5281/zenodo.7898562. EDN: CVBSGG.

Введение

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» – комплексное научное учреждение, выполняющее исследования по перспективным направлениям в области сельскохозяйственного производства. Одним из структурных подразделений является лаборатория селекции зернофуражных культур.

Значение культуры ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в животноводстве и продовольственной промышленности трудно переоценить [1]. Селекция данной культуры в Омском АНЦ имеет глубокую историю. Первенцы сибирской селекции –

Омский 11464 и Омский 10664 были созданы И. И. Кораблиным путём индивидуального отбора из местных популяций и районированы соответственно в 1936 и 1945 гг. Заслуженную славу институту принёс сорт Омский 13709, созданный И. И. Кораблиным и А. В. Тохтуевым путём отбора из местного образца Славгородского округа Алтайского края и районированный в 1949 г.; сорт занимал основные площади посевов в Сибири и Северном Казахстане.

В дальнейшем, в силу объективных причин того времени последовало более 30 лет бесплодной работы в селекции как ячменя, так и других зерновых культур. И только с приходом в институт в 1960 г. талантливого селекционера Н. М. Федуловой был сделан прорыв в селекции ячменя. Закрепил этот успех Н. И. Аниськов – под его руководством создан набор экологически пластичных сортов, устойчивых к засухе в течение всего периода вегетации, обладающих высокой регенерационной способностью и одновременным созреванием [2].

Особое внимание в селекционной работе с ячменём уделено созданию устойчивых к болезням и вредителям сортов разных групп спелости и различного направления использования зерна (фуражное, пивоваренное, крупяное). На основе местного генофонда и мировой коллекции ВИР, представленной сортами ближнего и дальнего зарубежья, была создана целая серия сортов: Сибирский 2 (1982 г.), Новоомский (1984 г.), Омский 80 (1984 г.), Омский 85 (1984 г.), Омский 86 (1991 г.), Омский 87 (1993 г.), Омский 88 (1995 г.), Омский 90 (1996 г.), Омский 89 (1997 г.), Омский 95 (2003 г.), Омский 91 (2000 г.), Омский голозёрный 1 (2001 г.), Омский голозёрный 2 (2004 г.), Саша (2008 г.), Омский 99 (2011 г.), Сибирский Авангард (2006), Майский (2010 г.), Подарок Сибири (2014 г.), Омский 100 (2018 г.), Омский голозёрный 4 (2020 г.), Омский 101 (2021 г.).

За период с 1936 по 2021 гг. создано и внесено в Государственный реестр селекционных достижений РФ 24 сорта ячменя. Отличительными особенностями данных сортов являются повышенные показатели продуктивности, устойчивости к засухе и листовостебельным заболеваниям, а также качество зерна. Благодаря традиционно высоким качествам, омские сорта имеют широкий ареал возделывания – не только по 10 (Западно-Сибирскому) региону, но также по 11 (Восточно-Сибирскому) и 9 (Уральскому) регионам.

Площадь посевов в 2019–2021 гг. под сортами ячменя селекции Омского АНЦ в Западной Сибири и прилегающих к ней районах Северного Казахстана достигала более 850 тыс. га. В Омской области площадь посевов под яровым ячменем составляла: в 2019 и 2020 гг. – 300 тыс. га, в 2021 г. – 183 тыс. га. Сорта селекции Омского АНЦ (СибНИИСХ) занимают около 65 % сортовых посевов данной культуры [3, 4].

Основным компонентом зерна, указывающим на его питательность, является массовая доля белка. Положительное влияние засушливых условий на формирование повышенного содержания белка в зерне неоднократно освещалось в литературе [5]. Также повысить данный компонент возможно путём внесения минеральных удобрений [6]. Зерно ячменя официально признано подходящим для получения функциональных продуктов питания, что связано с высоким содержанием в нем полезного для здоровья человека полисахарида β -глюкана [7]. Основная масса зерна ячменя приходится на крахмал (от 55 до 70 %). Высокая скорость ферментации данного компонента зерна обеспечивает синхронное высвобождение энергии, что улучшает усвоение организмом питательных веществ [1]. Большое значение количество крахмала имеет также в пивоваренной промышленности, а повышение его массовой доли возможно с помощью предпосевной обработки зерна бактериальными препаратами [8]. Ячмень является источником ценного по химическому составу пищевого масла, в состав которого

входят как полиненасыщенные жирные кислоты, так и минорные соединения (токоферолы, токотриенолы, витамин Е), которые играют важную роль в поддержании здоровья человека. По содержанию токотриенолов масло ячменя является абсолютным лидером среди растительных масел [9, 10].

Селекционная работа с культурой ярового ячменя проводится по трем направлениям: крупяное, пивоваренное и фуражное. Создание сорта – весьма длительный процесс (10–15 лет). Сорта, созданные ранее, включают в план гибридизации и они становятся базой для создания следующих. Безусловно, полученный селекционный материал на всех этапах изучения требует всесторонней оценки по множеству показателей продуктивности и качества зерна. На каждом этапе изучения происходит строгий отбор (по показателям продуктивности, адаптивности и качеству зерна) как при сравнении со стандартом, так и родительскими сортами.

Вопрос наследования признаков в селекционном процессе весьма важен. Так, отмечено, что в наследовании признаков качества зерна (содержание белка, крахмала и жира) выявлены все известные типы – от сверхдоминирования до депрессии [10]. Однако, значение каждого отдельного типа наследования зависит от направления селекции. Например, в селекции пивоваренных сортов ячменя с пониженным содержанием белка, для дальнейших исследований выделяются сортообразцы именно с депрессивным типом наследования данного признака [11]. Согласно данным по изучению комбинационной способности, доля вариантов общей комбинационной способности (ОКС) по содержанию в зерне белка варьировала от 61,7 до 54,9 %; крахмала – 38,6–55,0 %; жира – 29,3–59,5 %. В менее благоприятных условиях периода вегетации в изменчивости признаков возрастают эффекты аллельного (доминирования) и неаллельного взаимодействия генов (эпистаз). Доля варианспецифической комбинационной способности (СКС) по содержанию в зерне перечисленных выше компонентов варьировала от 32,5 до 73,9 %. Наибольшее влияние реципрокного эффекта отмечено по признакам масличности зерна (17,9–2,4 %) и крахмалистости (16,4–12,5 %) [11, 12].

Значительное распространение и доказанную эффективность имеет гибридизация отдаленных эколого-географических форм [13] с последующими повторными скрещиваниями и индивидуальным отбором. По мнению Н. И. Аниськова, в селекции урожайных и адаптивных сортов ячменя для региона Западной Сибири, большой интерес представляют сорта из Канады (благодаря адаптивности к местным условиям, схожим с условиями Сибири) [3, 4]. Представляют также ценность образцы из Швеции, Германии и ряда стран Европы, отличающиеся комплексом признаков продуктивности и качества зерна. Поэтому изучение коллекционных сортообразцов различного эколого-географического происхождения является актуальным.

Цель исследований – оценка сортообразцов ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) коллекционного питомника для выделения наиболее перспективных в селекции на качество зерна.

Материалы и методы исследований

Исследования выполнены в коллекционном питомнике на опытных полях Омского АНЦ в южной лесостепи с 2019 по 2021 гг. в следующем севообороте: пар – ячмень – пшеница – пшеница.

Опытные поля представлены среднемощной тяжелосуглинистой лугово-черноземной почвой. Содержание гумуса (по Тюрину) составляло 6,68–6,91 %, подвижного фосфора – 98–112 мг/кг; обменного калия – 240–310 мг/кг почвы (по Смирнову), нитратного азота (по Кочергину) – 5,3 мг/кг, сумма поглощенных

оснований – 30,02 мг-экв./100 г почвы, рН (KCl) почвенного раствора – 6,6–7,0 ед. В составе катионов преобладал кальций (90,1 %), на магний приходилось 12,0 % от общей емкости поглощения, натрия – менее 1 %.

Основная обработка почвы заключалась в послеуборочном лущении стерни и зяблевой вспашке. Обработка зяби состояла из закрытия влаги боронованием и последующей культивации на глубину 6–8 см. Посев осуществляли сеялкой ССФК-7 на делянках площадью 2 м² в четырехкратной повторности при норме высева 4 млн всхожих зерен/га. Срок посева – 18–20 мая.

Наблюдения, оценки и учеты проведены согласно методике Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» [14]. Уход за посевами включал комплекс мероприятий, таких, как уничтожение почвенной корки и борьба с сорняками (путем боронования через пять–шесть суток после посева и в фазе трех–четырёх листьев). Уборку осуществляли селекционным комбайном Nege-125 в фазе полной спелости.

При биохимическом анализе качества зерна использовали традиционные методы и технологии [15]. Проведена математическая обработка данных методом двухфакторного дисперсионного анализа [16] в приложении Excel.

Коллекционный питомник ярового ячменя в течение периода исследований включал 48 сортообразцов. В статье представлены данные наиболее перспективных, выделившихся по комплексу признаков: Поспех, Sloop SA, Красноярский 91, Соборный, Эвергран, Issota и Tercel.

Стандартом выступал сорт Омский 95 селекции Омского АНЦ. Омский 95 включен в Госреестр РФ (2006 г.) и Республики Казахстан, среднеспелый (вегетационный период 79–90 суток), устойчив к болезням и абиотическим факторам (слабо восприимчив к каменной и черной головне и средневосприимчив к пыльной головне, засухоустойчив, устойчив к полеганию), имеет высокий потенциал продуктивности и качества зерна.

Вегетационный период 2019 г. характеризовался как достаточно увлажненный (ГТК = 1,1) (таблица 1). Температура воздуха в основном находилась на уровне среднеголетних значений (–0,3...+1,0 °С к норме). Избыточное увлажнение отмечено в июне и сентябре (167,3 и 165,8 %), а его недостаток отмечен в июле и августе (43,8 и 75,0 %).

Таблица 1 – Метеорологические условия в мае–сентябре 2019–2021 гг.

Месяц	Среднесуточная температура воздуха, °С				Сумма осадков, мм			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Средне- многолетняя норма	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Средне- многолетняя норма
Май	12,2	17,4	17,4	11,9	37,8	22,3	13,3	35,0
Июнь	15,5	16,2	16,9	13,0	85,3	42,7	44,7	50,9
Июль	20,4	21,2	20,6	21,2	28,9	13,3	32,8	65,9
Август	18	19,4	19,1	19,0	40,5	55,7	42,4	54,0
Сентябрь	10,8	11,4	9,5	11,2	48,2	40,1	34,8	29,1

Засушливыми условиями характеризовались 2020 и 2021 гг. – ГТК = 0,69 и 0,58 соответственно. Недобор температур в данные периоды наблюдали в июне (–2,1 и –1,1 °С к среднеголетним данным). В мае, июле и августе температура воздуха значительно превышала норму (+1,2–4,9 °С). На этом фоне отмечен значительный недостаток увлажнения с мая по июль (20,2–83,7 % к среднеголетним) и его избыток в сентябре (137,9 и 119,7 %).

Результаты и их обсуждение

В коллекционном питомнике изучали 48 сортообразцов ярового ячменя; данные рисунка 1 позволяют сделать заключение о значительной дифференциации данного материала по исследуемым признакам. Так, доля образцов, превышающих стандарт по урожайности, содержанию в зерне белка и сырого жира составила всего 13–14 %; основная масса образцов по данным показателям на уровне (27–53 %) или ниже стандарта (33–60 %). Прямо противоположную картину наблюдали по содержанию в зерне крахмала: превышают стандарт 60 % сортообразцов, 33 % – на уровне стандарта.

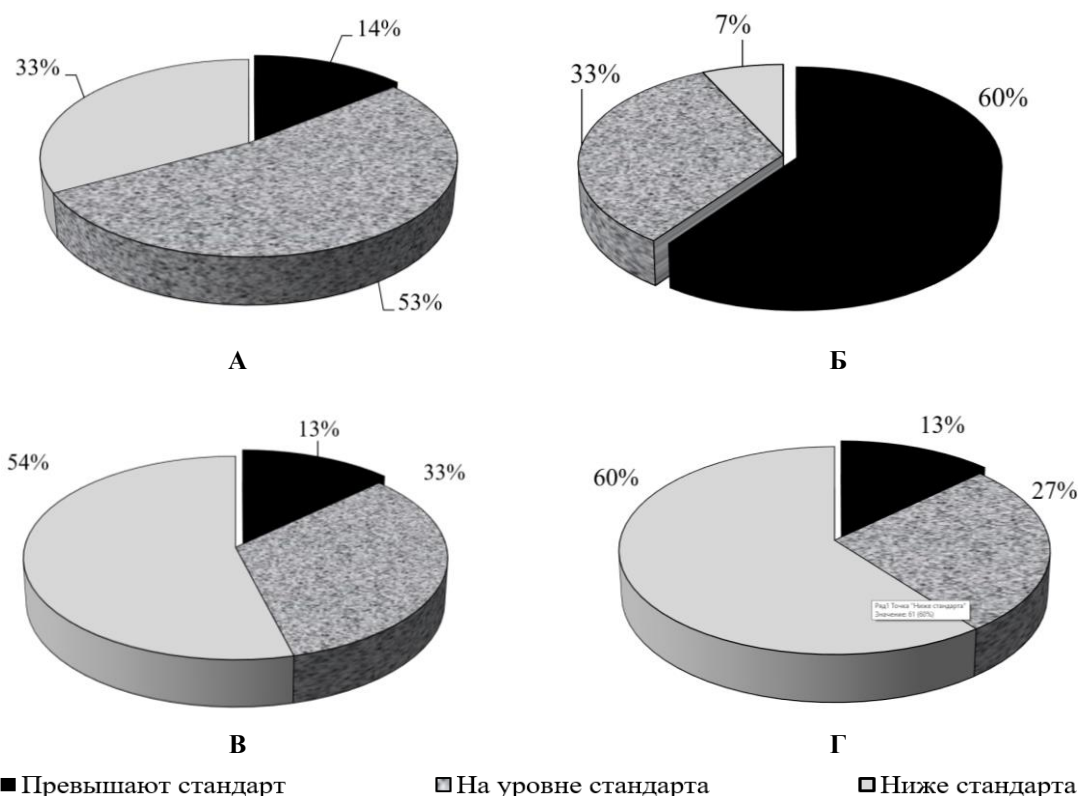


Рисунок 1 – Дифференциация сортообразцов коллекционного питомника по отношению к стандарту урожайности (Г) по основным показателям и качества зерна (А – содержание белка, Б – крахмала, В – сырого жира).

В течение анализируемого периода (2019–2021 гг.) наблюдали значительное влияние условий выращивания на формирование белка в зерне (90,7%) (таблица 2).

Таблица 2 – Вклад факторов в изменчивость основных показателей продуктивности и качества зерна ячменя, % (среднее за 2019–2021 гг.)

Источник варьирования	Массовая доля			Масса 1000 зерен	Урожайность
	белка	крахмала	сырого жира		
Фактор А (год)	90,7	50,5	60,3	70,6	60,5
Фактор В (сорт)	8,0	46,6	23,1	27,9	35,9
Взаимодействие (А × В)	1,0	2,5	15,6	1,0	2,6
Остаточное	0,3	0,4	1,0	0,5	01,0

По прочим показателям качества зерна (содержание крахмала и масличность) отмечена высокая доля генотипа (соответственно 50,5 и 60,3 %).

Аналогичную картину наблюдали по крупности зерна (доля генотипа в формировании признака массы 1000 зерен составила 70,6 %). Отмечено, что по признаку массы 1000 зерен доля фактора «год» может варьировать в разные периоды от 15 до 59 % [17].

Согласно литературным данным, дисперсия по фактору генотип признака урожайность зерна может составлять 1,2 % [18], что значительно ниже данных наших исследований – 35,9 % (см. таблица 2).

Одним из основных показателей качества является массовая доля белка, абсолютное содержание белка в крупных и мелких зернах в пределах колоса или отдельного ряда в колосе остается примерно одинаковым [19]. Селекционеры находятся в постоянном поиске источников с повышенным содержанием белка в зерне, которые можно включить в селекционный процесс. Для этого ежегодно проводят широкомасштабные исследования как новинок селекции, так и старых сортов.

В основном содержание белка в зерне ячменя варьирует от 10 до 17 % [19]. В наших исследованиях массовая доля белка в среднем составила 12,9 %, у стандартного сорта Омский 95 – 11,9 %. Анализ коллекционного питомника по данному признаку позволил выделить сортообразцы, характеризующиеся достоверной прибавкой к стандарту по содержанию белка: Tercel (+1,9 %), Соборный (+1,6 %), Issota (+1,0 %), Поспех (+2,0 %) и Sloop SA (+1,9 %) (таблица 3). Важно отметить, что данные сортообразцы превышали стандарт также по минимальным (от 12,2 до 13,5 %) и максимальным (от 14,2 до 14,3 %) значениям данного признака. На уровне стандарта находились сортообразцы Поспех и Sloop SA.

Таблица 3 – Характеристика сортов ячменя по качеству зерна, коллекционный питомник (среднее за 2019–2021 гг.)

Сорт, сортообразец	Урожайность, г/м ²		Массовая доля					
			белка, %		крахмала, %		сырого жира, %	
	max-min	\bar{x}	max-min	\bar{x}	max-min	\bar{x}	max-min	\bar{x}
Омский 95 (St.)	2,70–4,04	3,64	10,5–13,5	11,9	50,1–56,1	53,2	1,2–3,9	2,3
Поспех	4,35–5,57	5,30	13,5–14,2	13,9	53,8–55,1	54,7	2,2–3,6	2,9
Sloop SA	3,42–4,67	4,43	13,3–14,2	13,8	51,9–53,8	52,8	2,2–3,3	2,8
Красноярский 91	3,36–4,56	4,43	10,6–11,7	11,1	54,5–58,4	56,4	1,7–2,3	2,0
Соборный	3,85–4,99	4,36	12,7–14,3	13,5	55,1–57,8	56,5	2,5–3,0	2,7
Эвергран	3,04–4,83	4,30	10,1–12,0	11,0	55,1–59,1	57,1	2,9–3,0	3,0
Issota	3,36–5,06	4,26	12,2–13,1	12,9	56,5–58,4	57,4	2,8–4,5	3,6
Tercel	2,54–4,77	3,64	14,2–16,1	15,1	58,4–60,4	59,4	3,3–3,3	3,3
HCP ₀₅	-	0,5	-	0,7	-	1,4	-	0,3
Cv, %	-	19,3	-	26,1	-	28,9	-	27,8

Содержание крахмала в зерне ячменя может варьировать от 50 до 60 %, при этом отмечено увеличение массовой доли данного компонента при проращивании семян благодаря его природной модификации под действием α -амилазы [20]. В среднем по питомнику содержание крахмала в зерне ячменя составило 55,9 %. Крахмалистость стандарта отмечена на уровне 53,2 %, превышали данное значение сортообразцы: Красноярский 91 (+3,2 % к St.), Соборный (+3,3 % к St.), Эвергран (+2,7 % к St.), Tercel (+5,9 % к St.), Поспех (+1,5 % к St.) и Issota (+4,2 % к St.). Перечисленные образцы превышают стандарт также и по лимитам (min = 55,1–58,4; max = 55,1–60,4).

Отмечено, что образцы ячменя с повышенным содержанием масла в зерне характеризуются более высокими значениями параметров стабильности по данному признаку [9]. Массовая доля сырого жира в зерне стандарта в среднем за период

исследований составила 2,3 %. Достоверно превышали стандарт по масличности зерна сортообразцы: Пospех (+0,6 %), Sloop SA (+0,5 %), Эвергран (+0,7 %), Issota (+1,3 %) и Tercel (+1,0 %).

Урожайность – интегральный показатель, который зависит от многочисленных факторов, складывающихся в течение периода вегетации. Так, основными из них являются: биопрепараты и удобрения [21], срок сева [22], приемы защиты и др. Согласно проведенным нами ранее исследованиям, на урожайность также оказывают влияние погодные условия в период роста и развития растений [23]. Так, учитывая обратную корреляционную зависимость урожайности зерна как со средними температурами воздуха ($r = -0,606 \dots -0,994$), так и с суммой осадков ($r = -0,240 \dots -0,869$), можно предположить, что чрезмерно высокие значения данных климатических показателей способствовали снижению урожайности. Очевидно, что для формирования урожайности необходимо их оптимальное соотношение.

В среднем за период исследований с 2019 по 2021 гг. урожайность сортообразцов коллекционного питомника составила 4,3 т/га, стандарта – 3,64 т/га. Все исследуемые образцы достоверно превышали стандарт по урожайности (от + 0,62 г/м² (Issota) до +1,66 г/м² (Пospех)).

Анализ полученных результатов показал повышенную изменчивость урожайности и показателей качества зерна, что подтверждает значительный коэффициент вариации ($C_v > 20$ %). Это означает широкие возможности для проведения отборов по максимальной выраженности признаков.

Выводы

Для дальнейших исследований рекомендованы следующие сорта коллекционного питомника, характеризующиеся комплексом повышенных показателей качества зерна:

– Пospех, Tercel, Issota с повышенной урожайностью (+0,62–1,66 г/м² к St.), содержанием в зерне белка (+0,7–1,9 % к St.), крахмала (+1,5–5,9 % к St.) и сырого жира (+0,6–1,3 % к St.).

– Sloop SA – прибавка по урожайности (+0,79 г/м² к St.), содержание белка (+0,6 % к St.) и сырого жира (+ 0,5 % к St.).

– Соборный – урожайный сортообразец (+0,72 г/м² к St.) с повышенным содержанием белка (+1,6 % к St.) и крахмала (+3,3 % к St.).

– Эвергран, урожайность (+0,66 г/м² к St.), содержание крахмала (+2,7 % к St.) и сырого жира (+0,7 % к St.).

Литература

1. Сумина А. В., Полонский В. И., Количенко А. А. Кормовая ценность зерна ячменя, выращенного в условиях юга Сибири // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. 2020. № 3 (33). С. 36–39.
2. Чекусов М.С. История и перспективы развития селекционно-семеноводческого центра ФГБНУ «Омский АНЦ» в юбилейной ретроспективе // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 10. С. 5–8.
3. Николаев П.Н., Юсова О.А., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Агробиологическая характеристика многорядных голозерных сортов ячменя селекции Омского АНЦ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. № 180 (1). С. 37–43. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-38-43.
4. Николаев П. Н., Юсова О. А., Аниськов Н. И., Сафонова И. В., Ряполова Я. В. Новый среднеспелый сорт ярового ячменя Омский 101 // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. № 180 (2). С. 83–88. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-83-88.
5. Лихенко И. Е., Советов В. В., Аносов С. И., Лихенко Н. Н. Формирование урожая зерна сибирских сортов яровой мягкой пшеницы в условиях континентального климата Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 1. С. 27–30.
6. Федюшкин А.В. Влияние минеральных удобрений на урожайность и содержание белка в зерне ярового ячменя // Аллея науки. 2018. Т. 1. № 9 (25). С. 238–242.

7. Harland J. Authorised EU health claims for barley and oat beta-glucans // In book: Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2014. P. 25–45. DOI: 10.1533/9780857098481.2.25.
8. Гамзаева Р.С., Ходжаев Р.С. Содержание крахмала и активность амилолитических ферментов в зерне ярового ячменя при инокуляции семян бактериальными препаратами // Вестник Студенческого научного общества. 2018. Т. 9. № 1. С. 18–20.
9. Полонский В. И., Сумина А. В., Герасимов С. А. Оценка образцов ячменя на адаптивность по содержанию масла в зерне в условиях Хакасии // Вестник КрасГАУ. 2022. № 6 (183). С. 148–155. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-6-148-155.
10. Аниськов Н.И. Селекционно-генетические аспекты в наследовании признаков ячменя в условиях Западной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2010. № 6 (45). С. 51–55.
11. Николаев П. Н., Юсова О. А., Кремпа А. Е. Новые перспективные линии ячменя пивоваренного направления селекции Омского аграрного научного центра // Земледелие. 2022. № 1. С. 39–43. DOI: 10.24412/0044-39132022-1-39-43.
12. Moreau R. A. Barley Oil // In book: Gourmet and Health-Promoting Specialty Oils // Ed. by R.A. Moreau, A. Kamal-Eldin. AOCS-Press, Urbana-Illinois, 2009. P. 455–478
13. Вакула С. И., Орловская О. А., Хотылева Л. В., Леонова И. Н. Оценка признаков продуктивности у интрогрессивных линий *Triticum aestivum* / *T. timopheevii* в различных экологических условиях // Сельскохозяйственная биология. 2018. № 53(5). С. 916–926. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.5.916rus.
14. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса // Сост. Лоскутов И. Г., Ковалева О. Н., Блинова Е. В. Изд. 4-е, доп. и перераб. Санкт-Петербург: Государственное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н. И. Вавилова», 2012. 63 с.
15. Плешков Б.В. Практикум по биохимии растений. М.: "Колос", 1985. 256 с.
16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
17. Опанасюк И.В., Белкина Р.И. Качество зерна сортов ячменя и факторы, определяющие его в условиях Северного Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2012. № 3 (66). С. 63–66.
18. Максимов Р.А., Киселев Ю.А., Шадрина Е.А. Адаптивная реакция коллекционных сортообразцов ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в условиях Среднего Урала // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 4. С. 35–40. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_35.
19. Полонский В.И., Сумина А.В., Шалдаева Т.М. Содержание белков и углеводов в зерне ячменя и овса сибирской селекции // Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 49–55.
20. Андреев Н.Р., Гольдштейн В.Г., Вассерман Л.А., Носовская Л.П., Адикаева Л.В. Исследование модификации крахмала при проращивании зерна гороха, нута и голозерного ячменя // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 12. С. 90–94. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11215.
21. Козлова М. Ю. Урожайность ячменя и многолетних трав в зависимости от применения биопрепаратов и удобрений // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 3 (35). С. 41–45.
22. Ашаева О. В., Кошишова М. Н. Влияние сроков посева на урожайность зерна озимого ячменя // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 4 (16). С. 4–7.
23. Юсова О. А. Источники повышенного качества зерна ячменя, овса, сои, люцерны и кострца для создания новых высокопродуктивных сортов с хорошим качеством: руководство. Омск: Литера, 2017. 60 с.

References

1. Sumina A. V., Polonsky V. I., Kolichenko A. A. The fodder value of barley grown in the south of Siberia // Bulletin of the Khakass State University named after N.F. Katanov. 2020. No. 3 (33). P. 36–39.
2. Chekusov M. S. History and prospects for the development of the breeding and seed center of the FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center” in the anniversary retrospective // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2020. Vol. 34. No. 10. P. 5–8.
3. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Aniskov N. I., Safonova I. V. Agrobiological characteristics of hullless barley cultivars developed at Omsk Agrarian Scientific Center // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019. No. 180 (1). P. 37–43. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-38-43.
4. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Aniskov N. I., Safonova I. V., Ryapolova Ya. V. New mid-season spring barley cultivar Omsky 101 // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019. No. 180 (2). P. 83–88. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-83-88.
5. Likhenko I. E., Sovetov V. V., Anosov S. I., Likhenko N. N. Siberian spring wheat varieties grain yield formation under continental climate of Western Siberia // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2014. No. 1. P. 27–30.

6. Fedyushkin A. V. Influence of mineral fertilizers on productivity and protein content in grain of spring barley // *Alley of Science*. 2018. Vol. 1. No. 9 (25). P. 238–242.
7. Harland J. Authorised EU health claims for barley and oat beta-glucans // In book: *Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2014. P. 25–45. DOI: 10.1533/9780857098481.2.25.
8. Gamzaeva R. S., Khodzhaev R. S. The content of starch and the activity of amylolytic enzymes in the grain of spring barley during seed inoculation with bacterial preparations // *Bulletin of the Student Scientific Society*. 2018. Vol. 9. No. 1. P. 18–20.
9. Polonsky V. I., Sumina A. V., Gerasimov S. A. Barley samples evaluation for adaptability in grain oil content under the Khakassia conditions // *Bulletin of KSAU*. 2022. No. 6 (183). P. 148–155. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-6-148-155.
10. Aniskov N. I. Selective and genetic aspects in barley feature inheritance in the Western Siberia conditions // *Bulletin of KSAU*. 2010. No. 6 (45). P. 51–55.
11. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Krempe A. E. New promising lines of brewing barley bred at Omsk Agricultural Scientific Center // *Zemledelie*. 2022. No. 1. P. 39–43. DOI: 10.24412/0044-39132022-1-39-43.
12. Moreau R.A. Barley Oil // In book: *Gourmet and Health-Promoting Specialty Oils* // Ed. by R.A. Moreau, A. Kamal-Eldin. AOCS-Press, Urbana-Illinois, 2009. P. 455–478
13. Vakula S. I., Orlovskaya O. A., Khotyleva L. V., Leonova I. N. Manifestation of productivity traits in *Triticum aestivum* / *T. timopheevii* introgression lines in different environmental conditions // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2018. No. 53(5). P. 916–926. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.5.916eng.
14. Guidelines for the study and conservation of the world collection of barley and oats // Compiler I. G. Loskutov, O. N. Kovaleva, E. V. Blinova. 4th ed., added and revised. St. Petersburg: State Scientific Institution N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 2012. 63 p.
15. Pleshkov B. V. Workshop on plant biochemistry. Moscow: "Kolos", 1985. 256 p.
16. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
17. Opanasyuk I. V., Belkina R. I. Barley cultivars grain quality and the factors which determine it in the Northern Zauralye conditions // *Bulletin of KSAU*. 2012. No. 3 (66). P. 63–66.
18. Maksimov R.A., Kiselev Yu.A., Shadrina E.A. Adaptive response of collection varieties of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) under the conditions of the Middle Urals // *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2022. Vol. 36. No. 4. P. 35–40. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_35.
19. Polonsky V.I., Sumina A.V., Shaldaeva T.M. Proteins and carbohydrates content in barley and oats seeds at Siberian breeding // *Advances in Current Natural Sciences*. 2018. No. 1. P. 49–55.
20. Andreev N. R., Goldstein V. G., Wasserman L. A., Nosovskaya L. P., Adikaeva L. V. Study of starch modification during germination of pea, chickpea, and huskless barley grain // *Achievements of science and technology in Agro-Industrial Complex*. 2020. Vol. 34. No. 12. P. 90–94. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11215.
21. Kozlova M. Yu. Barley and perennial grasses yield depending on the application of biological products and fertilizers // *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2020. No. 3 (35). P. 41–45.
22. Ashaeva O. V., Koshishova M. N. Influence sowing times on the yield of the grain of winter barley // *Vestnik of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy*. 2017. No. 4 (16). P. 4–7.
23. Yusova O. A. Sources of high quality grains of barley, oats, soybeans, alfalfa and rump to create new high-yielding varieties with good quality: a guide. Department of agricultural sciences of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture. Omsk: Litera, 2017. 60 p.

UDC 633.16:631.527

Yusova O. A., Nikolaev P. N.

SPRING BARLEY BREEDING TO IMPROVE GRAIN QUALITY INDICATORS

Summary. *Creation of new varieties that combine both increased yield capacity and improved grain quality is one of the necessary conditions for obtaining high-quality grain. The purpose of the current research was to evaluate varieties of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) from the collection nursery in order to identify the most promising in breeding for grain quality. The results of studies of 48 varieties of the collection nursery in terms of yield, content of protein, starch and crude fat in grain for the period 2019–2021 were presented. Square of experimental plots – 2 m², 4-fold replication. Seeding rate – 4 million germinating grains per hectare. Standard – variety 'Omskiy 95' (breeder –*

Omsk Agrarian Scientific Center), included in the State Register of the Russian Federation in 2006. In the collection nursery, the share of samples exceeding standard variety in terms of yield, protein and crude fat content in the grain was only 13–14 %; starch content – 60 %. The increased variability of the studied parameters (coefficient of variation exceeds 20 %) provides a rich ground for selection for the maximum presence of certain features. The formation of features was chiefly influenced by the conditions of the year (the share of the factor “year” varied from 50.5 to 90.7 %). The studies have shown that the most promising varieties, which differed in the complex of grain quality parameters, were ‘Pospelk’, ‘Tercel’ and ‘Issota’; they were characterized by increased productivity (+0.62–1.66 g/m² compared to standard (St.)), protein content in grain (+0.7–1.9 % compared to St.), starch (+1.5–5.9 % compared to St.) and crude fat (+0.6–1.3 % compared to St.). Variety sample ‘Sloop SA’ exceeded standard in terms of yield, protein and crude fat content by 0.79 g/m², 0.6 % and 0.5 %, respectively. Variety sample ‘Soborniy’ was distinguished by increased yield (+0.72 g/m² compared to St.), protein (+1.6 % compared to St.) and starch (+3.3 compared to St.) content. Variety sample ‘Evergran’ had the following advantages compared to standard: yield +0.66 g/m², starch content +2.7 %, crude fat +0.7 %.

Keywords: *spring barley (*Hordeum vulgare* L.), collection, grain quality, productivity, plasticity, stability.*

Юсова Оксана Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией биохимии и физиологии растений ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, г. Омск, пр. Королева, 26; e-mail: yusova@anc55.ru.

Николаев Петр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции зернофуражных культур ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, г. Омск, пр. Королева, 26; e-mail: nikolaev@anc55.ru.

Yusova Oksana Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), head of the Laboratory of genetics, biochemistry and plant physiology, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Koroleva Avenue, Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: yusova@anc55.ru.

Nikolaev Petr Nikolaevich, Cand. Sc. (Agr.), head of the Laboratory for the selection of grain crops, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Koroleva Avenue, Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: nikolaev@anc55.ru.

Дата поступления в редакцию – 07.02.2023.

Дата принятия к печати – 23.02.2023.

Свободная цена