



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

ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

научный журнал

ISSN 2542-0720



№2 (34)

2023



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

ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

TAURIDA HERALD
OF THE AGRARIAN SCIENCES

№2 (34)

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. 17.21.
Заказ № 09А/10.
Тираж 500 экз.
Подписано к печати 10.07.2023.

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: 20.09.2023.
Дизайн и верстка - Н.С. Овчаренко,
Е.А. Дунаева
© ФГБУН «НИИСХ Крыма», 2023.
© Авторы статей, 2023.
© Авторы иллюстраций, 2023.

№2 (34), 2023

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

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

E-mail: priemnaya@niishk.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

| | |
|--|-----|
| Воронкова Н. А., Балабанова Н. Ф., Волкова В. А., Цыганова Н. А. АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФОСФАТНОГО РЕЖИМА ЛУГОВО- ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ В АГРОЦЕНОЗЕ | 6 |
| Дроботова Е. Н., Алейникова Н. В., Невкрытая Н. В., Каширина Н. А. ВИДОВОЙ СОСТАВ КОМПЛЕКСОВ ФИТОФАГОВ ШАЛФЕЯ МУСКАТНОГО (<i>SALVIA SCLAREA</i> L.) И ШАЛФЕЯ ЛЕКАРСТВЕННОГО (<i>SALVIA OFFICINALIS</i> L.) В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНОГО КРЫМА | 16 |
| Жбанова Е. В., Лукьянчук И. В. БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ И ОТБОРНЫХ ФОРМ ЗЕМЛЯНИКИ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РАЙОНА | 30 |
| Егорова Н. А., Ставцева И. В., Тевфик А. Ш. КАЛЛУСО- И МОРФОГЕНЕЗ ЛАВАНДЫ УЗКОЛИСТНОЙ В КУЛЬТУРЕ <i>IN VITRO</i> : ВЛИЯНИЕ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЭКСПЛАНТА | 39 |
| Елисеева Н. А., Костанчук Ю. Н. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ЧЕСНОКА ОЗИМОГО В УСЛОВИЯХ КРЫМА | 52 |
| Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫЕ ПРИЗНАКИ НОВЫХ ГИБРИДОВ (F1) СОРГО САХАРНОГО И ИХ РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ | 61 |
| Кутырёв А. И., Филиппов Р. А. РАСПОЗНАВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНЫХ ЧАСТЕЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ (CNN) | 72 |
| Свечников А. К., Козлова Л. М. ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В СЕВООБОРОТАХ С МНОГОЛЕТНИМИ ТРАВАМИ | 87 |
| Соболевский И. В., Куклин В. А., Калафатов И. И. ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РАСПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ АГРЕГАТА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМБИНИРОВАННОГО | 102 |
| Соколенко Н. И. НОВЫЙ СОРТ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ЕВСЕЙ | 110 |
| Соколенко О. Н., Буркова А. Г., Степанова В. В. К ВОПРОСУ ДИНАМИКИ ДВУХЪЯРУСНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ГИДРОПОННЫХ УСТАНОВОК С ЖЕСТКИМИ НЕСУЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ | 117 |
| Соколова Л. М. СОЗДАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОЛЕРАНТНЫХ ГЕТЕРОЗИСНЫХ ГИБРИДОВ МОРКОВИ СТОЛОВОЙ | 127 |
| Шихова И. В., Арзамасова Е. Г., Попова Е. В. ИЗУЧЕНИЕ СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЕКЦИОННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО В УСЛОВИЯХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ | 136 |

CONTENTS

| | |
|---|-----|
| Voronkova N. A., Balabanova N. F., Volkova V. A., Tsyganova N. A. AGROCHEMICAL ASSESSMENT OF THE PHOSPHATE REGIME OF MEADOW-CHERNOZEM SOIL IN AGROCENOSIS | 6 |
| Drobotova E. N., Aleynikova N. V., Nevkrytaya N. V., Kashirina N. A. SPECIES COMPOSITION OF COMPLEXES OF PHYTOPHAGES ON <i>SALVIA SCLAREA</i> L. AND <i>SALVIA OFFICINALIS</i> L. UNDER CONDITIONS OF THE CRIMEAN FOOTHILLS | 16 |
| Zhbanova Ye. V., Luk'yanchuk I. V. BIOCHEMICAL INDICES OF FRUIT QUALITY IN PROMISING STRAWBERRY VARIETIES AND SELECTED FORMS UNDER CONDITIONS OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION | 30 |
| Yegorova N. A., Stavtzeva I. V., Tefvik A. Sh. CALLUSO- AND MORPHOGENESIS OF <i>LAVANDULA ANGUSTIFOLIA IN VITRO</i> : INFLUENCE OF EXPLANT ORIGIN | 39 |
| Eliseeva N. A., Kostanchuk Yu. N. COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF COLLECTION SAMPLES OF WINTER GARLIC IN THE CRIMEA | 52 |
| Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. ECONOMICALLY VALUABLE SIGNS OF NEW <i>SORGHUM SACCURATUM HYBRIDS (F1) AND THEIR PARENT FORMS</i> | 61 |
| Kutyrev A. I., Filippov R. A. RECOGNITION OF GENERATIVE PARTS OF <i>FRAGARIA</i> × <i>ANANASSA</i> USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN) | 72 |
| Svechnikov A. K., Kozlova L. M. DYNAMICS OF HUMUS CONTENT IN CROP ROTATIONS WITH PERENNIAL GRASSES | 87 |
| Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Kalafatov I. I. JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS AND LOCATION OF THE WORKING BODIES OF THE COMBINED TILLAGE UNIT | 102 |
| Sokolenko N. I. 'EVSEI' – NEW VARIETY OF SPRING BARLEY | 110 |
| Sokolenko O. N., Burkova A. G., Stepanova V. V. ON THE ISSUE OF DYNAMICS OF TWO-TIER MECHANICAL HYDROPONIC SYSTEMS WITH RIGID LOAD-CARRYING COMPONENTS | 117 |
| Sokolova L. M. CREATION OF PROMISING HETEROSIS HYBRIDS OF TABLE CARROT | 127 |
| Shikhova I. V., Arzamasova E. G., Popova E. V. STUDY OF <i>TRIFOLIUM PRATENSE</i> L. BREEDING POPULATIONS SEED PRODUCTIVITY UNDER CONDITIONS OF THE KIROV REGION | 136 |

EDN ADJVJX

DOI 10.5281/zenodo.8272626

УДК 631.8:631.582:631.416.2

Воронкова Н. А., Балабанова Н. Ф., Волкова В. А., Цыганова Н. А.

АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФОСФАТНОГО РЕЖИМА ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ В АГРОЦЕНОЗЕ

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

Реферат. В современной земледелии разработка научно обоснованной системы удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур с учетом зональных особенностей региона имеет актуальное значение. Цель исследования заключалась в изучении качественного и группового состава фосфатов лугово-черноземной почвы, установлении влияния систематического внесения фосфорных удобрений на содержание подвижного фосфора в почве и продуктивность зернопарового севооборота в южной лесостепной зоне Западной Сибири. Исследования проводили в 1993–2021 гг. на опытном полигоне лаборатории агрохимии Омского аграрного научного центра в длительном стационарном опыте на основе зернопарового севооборота (пар чистый – яровая пшеница – соя – яровая пшеница – ячмень). Опыт двухфакторный: фактор А – минеральные удобрения, фактор Б – солома. Дозы фосфорных удобрений рассчитаны балансовым методом Ю. П. Жукова. В наших исследованиях по определению обеспеченности растений подвижным фосфором из трех методов (Чирикова, Францесона и Карпинского-Замятиной) наиболее информативно сопряжены методы Чирикова и Карпинского-Замятиной ($r = 0,931 \pm 0,011$). Установлено, что при повышенном содержании подвижного фосфора в почве по Чирикову степень подвижности фосфатов низкая ($0,14 \pm 0,01$). Систематическое применение удобрений увеличило содержание подвижного фосфора в почве в среднем в два раза, при этом и степень подвижности фосфатов возросла в пять раз ($0,74 \pm 0,06$). Выявлено, что при длительном внесении удобрений во фракционном составе фосфатов почвы доля активных фосфатов (1–4 группа) составила 64 % от общего содержания минеральных фосфатов. Ретроградации фосфат-ионов не наблюдали. Связь содержания подвижного фосфора в почве с количеством внесенного фосфорного удобрения P_2O_5 к третьей ротации севооборота была тесная – $r = 0,994 \pm 0,046$. Увеличение содержания подвижного фосфора в почве повышало продуктивность севооборота ($r = 0,884 \pm 0,111$). Систематическое внесение фосфорсодержащих удобрений в севообороте в дозе P_{42-54} и соломы обеспечило положительный баланс фосфора (195 кг/га) с интенсивностью 276 %.

Ключевые слова: почва, удобрения, фосфатный режим, фракционный состав, севооборот, продуктивность.

Для цитирования: Воронкова Н. А., Балабанова Н. Ф., Волкова В. А., Цыганова Н. А. Агрохимическая оценка фосфатного режима агроценоза с лугово-черноземной почвой // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2 (34). С. 6–15. EDN: ADJVJX. DOI 10.5281/zenodo.8272626.

For citation: Voronkova N. A., Balabanova N. F., Volkova V. A., Tsyganova N. A. Agrochemical assessment of the phosphate regime of meadow-chernozem soil in agrocenosis // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 6–15. EDN: ADJVJX. DOI 10.5281/zenodo.8272626.

Введение

Теоретическим основам изучения фосфатного режима почв и практическим вопросам применения фосфорсодержащих удобрений в земледелии большое

внимание было уделено во второй половине двадцатого столетия. В многочисленных работах ученых [1–3] представлены фундаментальные исследования фосфорного питания растений в совокупности с химическими процессами, протекающими в почвах, особенностями минерального питания растений, а также отдельные вопросы эффективности фосфорных удобрений (дозы, сроки, приемы внесения и т.д.), что обусловило значимый прорыв в развитии агрохимической науки.

Исследования по изучению фосфатного режима черноземных почв в Западной Сибири представлены во многих работах [4–7]. Провинциальной особенностью западносибирских черноземных почв, согласно исследований Н.И. Богданова [1], является высокая (до 72 % от валового содержания фосфора в почве) обеспеченность их органическими и органоминеральными фосфатами и недостаточная растворимыми доступными формами. Фосфор в органических соединениях доступен растениям только после их перехода в минеральную форму.

В настоящее время накоплен большой объем информации по регулированию фосфатного режима почвы с помощью различных средств интенсификации. Применение различных химических соединений (органических и минеральных удобрений, промышленных отходов и т.д.) способствует выщелачиванию фосфора из прочно связанных соединений [3, 5, 8]. Следует отметить, что и использование фосфорных удобрений может значительно изменить фосфатный фонд, тем самым влияя на степень обеспеченности растений фосфором, количество и качество урожая сельскохозяйственных культур и экологическую безопасность.

Установлено, что при использовании солей фосфорной кислоты в качестве удобрения, не более 20 % фосфора используется растениями в онтогенезе, остальная же его часть в результате физико-химических процессов взаимодействует с почвенными компонентами и закрепляется почвенной биотой. Исследования [4, 9–11] показали, что систематическое внесение фосфорных удобрений не только обогащает почву фосфором в целом, но и значительно увеличивает подвижную фракцию. Наблюдается также мобилизация почвенного фосфора [4].

Цель исследований – определение качественного и группового состава фосфатов лугово-черноземной почвы, установление зависимостей содержания подвижного фосфора в почве и продуктивности агроценоза от внесенного фосфора с удобрениями в южной лесостепи Омского Прииртышья.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в 1993–2021 гг. на опытном поле лаборатории агрохимии Омского аграрного научного центра в длительном стационарном опыте (заложен 1987 г.) в южной лесостепи Западной Сибири на основе зернопарового севооборота (пар чистый – яровая пшеница – соя – яровая пшеница – ячмень). Севооборот развернут во времени и пространстве. Опыт заложен методом расщепленных делянок, размещение вариантов – систематическое. Площадь делянок первого уровня – 32×20 м², второго уровня – 16×20 м². Повторность опыта четырехкратная.

Объект – влияние длительного применения минеральных удобрений на фосфатный режим лугово-черноземной почвы. Предмет исследования – лугово-черноземная среднемогущая среднегумусовая тяжелосуглинистая почва. В составе обменных катионов почвы доля Ca²⁺ – 89 %, Mg²⁺ – 11 %, Na⁺ – менее 1 %, общая сумма – 32,1 ммоль/100 г почвы, pH – 6,7.

Климат Омской области характеризуется резкой континентальностью, малым количеством осадков, сухим воздухом, длинной и холодной зимой и теплым, но коротким летом. Температура опускается в среднем до 0 °С в начале октября и поднимается весной с 12 по 15 апреля. Переход температуры через 5 °С считается

началом вегетационного периода для холодостойких культур и начинается в последней декаде апреля. Продолжительность вегетационного периода составляет 155–165 дней. Сумма активных температур выше 10 °С – 1600–2150°С.

Южная лесостепная зона имеет хорошую теплообеспеченность и дефицит влаги в течение большей части года. Годовое количество осадков составляет 320–370 мм. Летом (при температуре выше 5 °С) выпадает 160–210 мм осадков. Весной и летом осадки выпадают нерегулярно и очень неравномерно. Засуха длится 8–16 дней и в некоторые годы может достигать 35–40 дней.

Исследование проводили в двухфакторном опыте: фактор А – минеральные удобрения, фактор Б – солома. Дозы фосфорных удобрений рассчитаны балансовым методом Ю. П. Жукова [12]:

1. Дефицитный баланс фосфора;
2. Баланс фосфора с 30 % дефицитом;
3. Бездефицитный баланс фосфора;
4. Положительный баланс фосфора (таблица 1).

Таблица 1 – Система применения удобрений в севообороте

| Номер системы | Доза удобрений, кг д. в. на 1 га пашни | |
|---------------|---|---------------------------------|
| | 1–3 ротации | 4–5 ротации |
| 1 | - | - |
| 2 | N ₁₂ P ₁₈ | P ₁₈ |
| 3 | N ₁₇ P ₃₄ | N ₁₂ P ₂₄ |
| 4 | N ₃₀ P ₅₄ K ₁₈ | N ₁₈ P ₄₂ |

В качестве удобрений использовали промышленные марки азот- и фосфорсодержащих удобрений. Вносили их перед посевом на глубину 6–8 см. Соответствующее урожаю количество соломы всех культур, измельченной при уборке, оставляли на опытных делянках. Посев районированных сортов сельскохозяйственных культур и учет урожайности проводили в соответствии с рекомендуемыми зональными агротехнологиями в оптимальные сроки прямым комбайнированием «Сампо-130». Урожайность приведена к 100 % чистоте и 14 % влажности.

Для выполнения поставленной цели в почвенных образцах определяли: подвижный фосфор – по Чирикову, легкоподвижный фосфор – по Францесону, степень подвижности фосфатов – по Карпинскому-Замятиной, групповой состав фосфатов почвы – по Гинзбург-Лебедевой [13]. Результаты исследований обработаны дисперсионным и корреляционным методами статистического анализа [13].

Результаты и их обсуждение

Фосфатный статус почвы и ее способность поставлять фосфор растениям устанавливается по количеству и качественному составу фосфатов в минеральной форме. Наиболее важное значение имеют подвижные растворимые соединения фосфора. Они включают различные формы фосфатов, которые находятся в динамическом равновесии между твердой фазой почвы и почвенным раствором.

В настоящее время для определения обеспеченности растений доступным фосфором используются различные методы, основанные на экстракции фосфат ионов растворами слабых кислот, щелочей и некоторых солей. В наших исследованиях по определению обеспеченности растений подвижным фосфором был использован метод Чирикова: фосфаты извлекали 0,5 н раствором уксусной кислоты. По мнению авторов [6], при использовании этого метода экстрагируются не только доступные формы фосфора для растений, но и резервные – фосфаты кальция. В методе Францесона использовался 0,006 н раствор соляной кислоты для извлечения

растворимых фосфатов в почве. Для определения степени подвижности фосфатов в почве использовали методику Карпинского-Замятиной. Этим методом определяют так называемый «фосфатный уровень» – способность твердых фаз почвы отдавать в раствор ионы фосфора. Доказательством того, что каждая вытяжка извлекает определённую часть подвижных фракций фосфатов, отражающая в целом уровень содержания P_2O_5 в почве, служит наличие достаточно тесной корреляционной связи между показаниями этих методов. Коэффициенты корреляции между каждой парой методов составили: Чириков – Францесон ($r = 0,700 \pm 0,121$); Чириков – Карпинский-Замятина ($r = 0,931 \pm 0,011$); Францесон – Карпинский-Замятина ($r = 0,713 \pm 0,0102$). Из трех методов наиболее информативно сопряжены по содержанию подвижного фосфора в почве методы Чирикова и Карпинского-Замятиной. В таблице 2 показана объективность используемых методов определения P_2O_5 в почве при оценке обеспеченности растений доступным фосфором. Связь между урожайностью яровой мягкой пшеницы по пару и содержанием подвижного фосфора в почве была наиболее сильной для метода Чирикова ($r = 0,82 \pm 0,23$).

Таблица 2 – Корреляционная связь содержания фосфора (слой почвы 0–20 см) и урожайности яровой мягкой пшеницы по пару (среднее за 2017–2021 гг.)

| Вариант | P_2O_5 мг/100 г в почвы по методу | | | Урожайность, т/га |
|---------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|
| | Чирикова | Францесона | Карпинского и Замятиной | |
| Без удобрений | $119 \pm 7,5$ | $11,2 \pm 0,8$ | $0,14 \pm 0,01$ | $2,66 \pm 0,51$ |
| * P_{1230} | $233 \pm 25,0$ | $23,3 \pm 2,0$ | $0,74 \pm 0,06$ | $3,42 \pm 0,47$ |
| $r \pm s_r$ | $0,82 \pm 0,23$ | $0,51 \pm 0,35$ | $0,67 \pm 0,053$ | |

Примечание. Суммарная доза фосфорсодержащих удобрений за пять ротаций севооборота.*

При анализе результатов определения содержания подвижного фосфора методами Чирикова и Карпинского-Замятиной выявлено, что в варианте без применения удобрений содержание P_2O_5 в почве повышенное ($x = 119 \pm 7,5$), а согласно градации Карпинского-Замятиной – степень подвижности фосфатов низкая ($x = 0,14 \pm 0,01$). Этот факт необходимо учитывать при разработке системы применения удобрений в севообороте. Систематическое применение фосфорсодержащих удобрений обеспечило увеличение содержания подвижного фосфора в почве в среднем в два раза (по Чирикову), при этом и степень подвижности фосфатов возросла в пять раз ($x = 0,74 \pm 0,06$).

Считается, что специфичность фосфора как компонента питания растений заключается в разнообразии солевого состава в почве. Это определяется методом поэтапной экстракции с разделением на отдельные группы с различной растворимостью и, следовательно, различной доступностью для растений [2]. Разделение на фракции основано на том, что фосфор в почве представлен в виде простых водорастворимых соединений кальция (Ca-P_I), практически нерастворимых в воде солей кальция (Ca-P_{II}), замещенных фосфатов алюминия (Al-P), железа (Fe-P) и кальция (Ca-P_{III}). Фосфор лучше всего усваивается растениями во фракциях Ca-P_I и Ca-P_{II}.

Исследования, выполненные с помощью изотопных методов [14], доказали, что доступный пул фосфатов в почве обеспечивали фосфаты группы 1–4. К тому же доступность их, и прежде всего 2-4 групп, зависела от метеорологических условий региона.

Анализ почвенных образцов показал, что общее содержание минеральных фосфатов в исследуемых пробах лугово-черноземной почвы составляло до 20 % от валового его количества (таблица 3) [4]. Удобрения способствовали значительному

увеличению абсолютного и относительного количества соединений P_2O_5 в почве.

Таблица 3 – Влияние удобрений на фракционный состав минеральных фосфатов в почве после пятой ротации зернопарового севооборота

| Количество внесенного P_2O_5 , кг/га | | Содержание P_2O_5 по фракциям, мг/100 г почвы | | | | | | |
|--|-----------|---|--------------------|------|------|---------------------|------|------|
| с минеральными удобрениями | с соломой | Ca-P _I | Ca-P _{II} | Al-P | Fe-P | Ca-P _{III} | ∑1-4 | ∑1-5 |
| 0 | 0 | 8,2 | 7,9 | 2,4 | 7,0 | 8,4 | 25,5 | 33,9 |
| 0 | 98 | 7,9 | 8,3 | 2,0 | 7,2 | 8,6 | 25,4 | 34,0 |
| 450 | - | 8,5 | 8,0 | 2,3 | 7,1 | 8,2 | 25,9 | 34,1 |
| 450 | 110 | 8,3 | 8,4 | 2,3 | 6,9 | 8,5 | 25,9 | 34,4 |
| 750 | - | 8,4 | 9,1 | 2,3 | 8,1 | 9,0 | 27,9 | 36,9 |
| 750 | 118 | 8,4 | 8,6 | 2,3 | 7,6 | 8,5 | 26,9 | 35,4 |
| 1230 | - | 9,6 | 10,5 | 2,7 | 8,4 | 8,4 | 31,2 | 39,6 |
| 1230 | 130 | 10,1 | 9,1 | 2,6 | 8,2 | 8,8 | 30,0 | 38,8 |
| НСР ₀₅ | | 1,3 | 1,1 | 0,6 | 1,4 | 1,5 | - | - |

Во фракционном составе минеральных фосфатов отмечено преобладание фосфатов первых двух групп из суммы доступных ($\Sigma 1-4$). Они составляли в среднем 64 % от общего содержания минеральных фосфатов. Содержание недоступных для растений Al-P и Fe-P составило 9 % и 28 % и было меньше, чем в первых двух группах [15], а в пятой группе (в основном фосфат кальция типа апатита первичного и вторично образованного) – 24 %.

Изменение количества минеральных фосфатов в большей степени определялось дозой внесения фосфорных удобрений. Следует отметить, что только в тех вариантах, где схемой опыта предусмотрено внесение фосфорсодержащих удобрений сверх выноса, наблюдалось увеличение количества одно- и двузамещённых соединений кальция на 21–22 %. По истечении пяти ротаций севооборота содержание высокоосновного фосфата (Ca-P_{III}) не изменилось. Это объясняется тем, что внесенные в почву фосфорные удобрения оставались в растворимой форме и закрепления P_2O_5 практически не происходило, что согласуется с результатами полевого эксперимента М. Т. Васбиевой [16]. Внесение фосфорных удобрений не повлияло на изменение содержания фосфата кальция (группа 5). Согласно исследованиям С. С. Аверкиной, И. В. Науменко [9], 60–80 % фосфора, внесённого с удобрением, распределилось в группах доступных фосфатов.

При анализе влияния соломы на условия фосфорного питания растений не выявлено существенных изменений в количестве фосфатов по фракциям. Это связано с низким содержанием валового фосфора в соломе зерновых и зернобобовых культур в севообороте (0,10–0,20 %), что в целом за 25-летний период дает норму внесения фосфора с соломой 98–130 кг/га севооборота или ежегодно 3,9–5,2 кг/га.

Статистический анализ влияния факторов на содержание в почве P_2O_5 показал, что доля фактора фосфорных удобрений составляет 86–88 %, а соломы – 1–11 %.

Нами установлено, что при длительном применении фосфорных удобрений наблюдалась дифференциация содержания подвижного фосфора по вариантам опыта (таблица 4). Запасы подвижного фосфора в слое почвы 0–20 см увеличились на 48–207 кг/га за счет новообразованных фосфатов.

По окончании пятой ротации севооборота в почве в следующих вариантах опыта: без внесения удобрений, внесение соломы, внесение удобрений в дозах $N_{12-18}P_{18-54}$ сформировался определенный фосфорный фон, который в конечном итоге определил уровень продуктивности севооборота.

Корреляционный анализ данных по содержанию подвижного фосфора в почве (у, мг/кг) и количества внесенного P₂O₅ (х, кг д. в./га) показал, что изменение содержания подвижного фосфора в почве было прямо пропорционально количеству внесенных удобрений (таблица 5).

Таблица 4 – Изменение содержания подвижного фосфора после пятой ротации, слой 0–20 см

| Количество внесенного P ₂ O ₅ , кг д.в./га | | Содержание P ₂ O ₅ , мг/кг | Отклонение от исходного (1993 г.) | |
|--|-----------|--|-----------------------------------|----|
| с минеральными удобрениями | с соломой | | мг/кг | % |
| 0 | - | 117 | 0 | 0 |
| 0 | 98 | 117 | -2 | -2 |
| 450 | - | 137 | 22 | 19 |
| 450 | 110 | 138 | 25 | 22 |
| 750 | - | 166 | 38 | 30 |
| 750 | 118 | 170 | 43 | 37 |
| 1230 | - | 208 | 88 | 73 |
| 1230 | 130 | 213 | 94 | 79 |
| НСР ₀₅ удобрений | | 21,8 | 13,4 | |
| НСР ₀₅ соломы | | F _ф < F _т | | - |
| НСР ₀₅ частных средних | | F _ф < F _т | | |

Таблица 5 – Зависимость содержания подвижного фосфора (у, мг/кг) в почве от внесенного P₂O₅ с удобрениями (х, кг д. в./га) в зернопаровом севообороте

| Ротация севооборота | Коэффициент корреляции | Уравнение |
|---------------------|------------------------|----------------------|
| I | r = 0,429 ± 0,151 | y = 0,060x + 08,9 |
| II | r = 0,947 ± 0,131 | y = 0,082x + 115,5 |
| III | r = 0,994 ± 0,046 | y = 0,077x + 115,2 |
| IV | r = 0,917 ± 0,071 | y = 0,0804x + 169,98 |
| V | r = 0,915 ± 0,112 | y = 0,0957x + 142,5 |

Обобщение результатов и статистический анализ экспериментальных данных с большим количеством пар сравнения и разными уровнями внесения фосфора (P₀₋₁₂₃₀) позволили выявить общую закономерность связи между продуктивностью культур и запасами подвижного фосфора в пахотном слое почвы: $y = 0,0056x + 1,1036$, где у – продуктивность, т/га зерновых единиц; х – мг P₂O₅/кг почвы (рисунок 1).

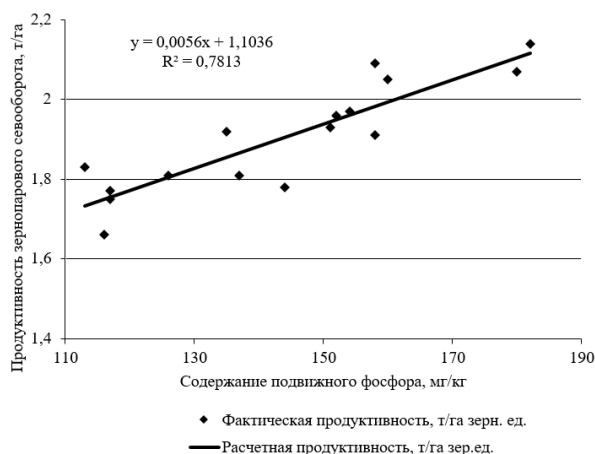


Рисунок 1 – Корреляционная связь продуктивности зернопарового севооборота от содержания подвижного фосфора в слое почвы 0–20 см

Балансовая оценка минерального питания растений в агроценозе в зависимости от систем удобрения, агротехники, набора культур, систем севооборота, почвенно-климатических условий представлена в работах многих ученых [4, 7, 17]. В нашем исследовании представлен расчет баланса фосфора в зернопаровом севообороте, который позволил оценить влияние удобрений на эффективное плодородие по фосфору. Баланс фосфора был отрицательным в контрольном варианте (P_0) – 109 кг/га и в варианте внесения только соломы ($P_{0+солома}$) – 69 кг/га (рисунок 2).

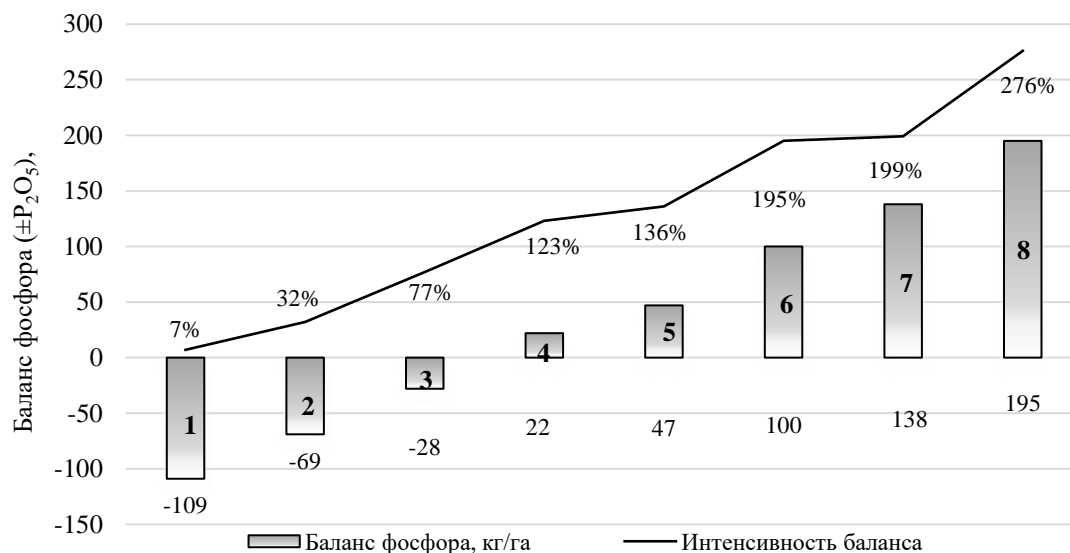


Рисунок 2 – Баланс фосфора и его интенсивность

Примечание. Варианты: 1 – P_0 ; 2 – $P_{0+солома}$; 3 – P_{450} ; 4 – $P_{450+солома}$; 5 – P_{750} ; 6 – $P_{750+солома}$; 7 – P_{1230} ; 8 – $P_{1230+солома}$.

Благодаря увеличению дозы фосфорных удобрений с 18 до 54 кг/га севооборота баланс фосфора в почве также изменился. Дефицит фосфора в варианте P_{18} составил 28 кг P_2O_5 на гектар, внесение фосфорных удобрений в этой норме недостаточно для компенсации поглощения фосфора культурой. Баланс фосфора достиг 47 и 138 кг/га P_2O_5 для вариантов P_{750} и P_{1230} соответственно, а увеличение содержания подвижного фосфора в почве благодаря наличию в почве остаточных фосфатов достигло 38–94 мг/кг.

Только после пятой ротации варианте $P_{18+солома}$ наблюдалось нивелирование дефицита фосфора в почве, тогда как при внесении фосфорных удобрений в дозах 34–54 кг/га севооборотной площади с соломой отмечался прирост содержания подвижного фосфора в почве в сравнении с вариантами без внесения соломы. Это объясняется кумулятивным эффектом, норма внесения фосфора с соломой за учетный период составила 98–130 кг/га. Следует отметить, что эффективное действие соломы было более активным в варианте фосфорного удобрения, внесенного в дозе P_{750} , прирост баланса за счет соломы составил 113 %. В варианте P_{1230} с запашкой соломы баланс фосфора возрос на 41% по сравнению с вариантом P_{1230} . Повышение содержания фосфора в почве не является самоцелью, а должно быть результатом интенсивного применения фосфатов в современном сибирском земледелии с целью повышения продуктивности севооборотов.

Выводы

Систематическое внесение фосфорсодержащих удобрений в севообороте в дозах (P₁₈₋₄₂) привело к увеличению подвижных фосфатов в почве в сравнении с исходным его количеством. При этом степень подвижности фосфатов в пахотном горизонте возросла в среднем в два раза.

Фракционный состав фосфатов почвы показал, что доля активных фосфатов (1–4 группа), в частности рыхлосвязанных фосфатов (1–2 группы), значительно увеличивалась при длительном внесении удобрений в севообороте. Ретроградации фосфат-ионов не наблюдалось.

Установлена тесная связь содержания подвижного фосфора в почве с количеством внесенного фосфорного удобрения к III ротации севооборота ($r = 0,994 \pm 0,046$). Увеличение содержания подвижного фосфора в почве повышало продуктивность севооборота ($r = 0,884 \pm 0,111$).

Систематическое внесение фосфорсодержащих удобрений в севообороте в дозе P₁₂₃₀ (в сумме за пять ротаций) и соломы возделываемых культур обеспечило максимально положительный баланс фосфора 195 кг/га с интенсивностью 276 %.

Литература

1. Богданов Н. И. Валовой и органический фосфор в сибирских черноземах // Почвоведение. 1954. № 5. С. 27–37.
2. Гинзбург К. Е. Фосфор основных почв СССР. М.: Наука, 1981. 244 с.
3. Минеев В. Г., Лебедева Л. А. Оптимизация содержания подвижного фосфора в почве и продуктивность растений // Вестник РАСХН. 1995. № 6. С. 52–54.
4. Воронкова Н. А. Влияние длительного применения удобрений в севообороте на фосфатный режим черноземов выщелоченных Западной Сибири // Агрохимия. 2010. № 12. С. 10–17.
5. Бойко В. С., Тимохин А. Ю., Якименко В. Н. Изменение фосфатного состояния почв лесостепи Западной Сибири при систематическом применении удобрений // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 1. С. 29–33. DOI: 10.31857/S2500262721010075.
6. Аверкина С. С., Синещков В. Е., Ткаченко Г. И. Оценка методов определения фосфатов в черноземах Новосибирской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2011. № 11–12. С. 5–10.
7. Красницкий В. М., Шмидт А. Г., Шилова К. М. Влияние интенсивности баланса фосфора на фосфатный режим почв Омской области // Плодородие. 2013. № 4(73). С. 33–36.
8. Шафран С. А., Кирпичников Н. А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // Агрохимия. 2019. № 4. С. 3–10. DOI: 10.1134/S0002188119040112.
9. Аверкина С. С. Региональные особенности и оценка методов определения подвижных фосфатов в почвах новосибирской области // Вестник НГАУ. 2019. № 3(52). С. 7–16. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-7-16.
10. Васбиева М. Т., Ямалтдинова В. Р., Фомин Д. С. Влияние длительного применения систем удобрений на фракционный состав минеральных фосфатов и содержание подвижного фосфора по профилю дерново-подзолистой почвы // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 2. С. 43–48. DOI: 10.31857/S2500262721020095.
11. Ubugunov L. L., Merkusheva M. G., Enkhtuyaa B. The content of available mineral phosphorus compounds in chestnut soils of Northern Mongolia upon application of different forms of phosphorite // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. No. 6. P. 634–642. DOI: 10.1134/S1064229315060113.
12. Ягодин Б. А., Жуков Ю. П., Кобзаренко В. И. Агрохимия. М.: Мир, 2004. 584 с.
13. Практикум по агрохимии: Учебное пособие // Под ред. Минеева В. Г. М.: Изд-во МГУ, 2001. 639 с.
14. Гамзиков Г. П. Проблемы экспериментальной агрохимии. Новосибирск: ООО «Печатное издательство Агро-Сибирь», 2013. 448 с.
15. Булакова Л. М. Плодородие алтайских черноземов в системе агроценоза: монография. Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2022. 203 с.
16. Васбиева М. Т. Изменение фракционного состава минеральных фосфатов, содержания подвижного фосфора и степени подвижности фосфатов по профилю дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2021. № 7. С. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188121070115.
17. Усенко В. И., Усенко С. В., Литвинцева Т. А., Щербакова А. А., Кобзева И. А. Баланс фосфора и обеспеченность им выщелоченного чернозёма в зависимости от севооборота, приемов

обработки и удобрений в лесостепи Алтайского Приобья // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 10. С. 14–17. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-11003.

References

1. Bogdanov N. I. Gross and organic phosphorus in Siberian chernozems // Eurasian Soil Science. 1954. No. 5. P. 27–37.
2. Ginzburg K. E. Phosphorus of the main soils of the USSR. Moscow: Nauka, 1981. 244 p.
3. Mineev V. G., Lebedeva L. A. Optimization of mobile phosphorus content in soil and plant productivity // Bulletin RASKHN. 1995. No. 6. P. 52–54.
4. Voronkova N. A. Effect of the long-term application of mineral and organic fertilizers to crop rotation on the phosphate status of leached chernozems in Western Siberia // Agrohimia. 2010. No. 12. P. 10–17.
5. Boyko V. S., Timokhin A. Yu., Yakimenko V. N. Change in the phosphate state of soils of the forest-steppe of Western Siberia at the systematic application of fertilizers // Rossiiskaia Selskokhoziaistvennaia Nauka. 2021. No. 1. P. 29–33. DOI: 10.31857/S2500262721010075.
6. Averkina S. S., Sineschekov V. E., Tkachenko G. I. Evaluation of methods for determining phosphates in chernozems of the Novosibirsk region // Siberian Herald of Agricultural Science. 2011. No. 11–12. P. 5–10.
7. Krasnitsky V. M., Shmidt A. G., Shilova K. M. Effect of high-input chemicals on the phosphate status of arable soil types in the Omsk region // Plodorodie. 2013. No. 4(73). P. 33–36.
8. Shafran S. A., Kirpichnikov N. A. Scientific bases for predicting the content of mobile forms of phosphorus and potassium in soils // Agrohimia. 2019. No. 4. P. 3–10. DOI: 10.1134/S0002188119040112.
9. Averkina S. S. Regional features and evaluation of the methods aimed at labile phosphates determination in the soil of Novosibirsk region // Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2019. No. 3(52). P. 7–16. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-7-16.
10. Vasbieva M. T., Yamaltdinova V. R., Fomin D. S. The influence of long-term application of fertilizer systems on the fractional composition of mineral phosphates and the content of mobile phosphorus of soddy-podzolic soil by profile // Rossiiskaia Selskokhoziaistvennaia Nauka. 2021. No. 2. P. 43–48. DOI: 10.31857/S2500262721020095.
11. Ubugunov L. L., Merkusheva M. G., Enkhtuyaa B. The content of available mineral phosphorus compounds in chestnut soils of Northern Mongolia upon application of different forms of phosphorite // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. No. 6. P. 634–642. DOI: 10.1134/S1064229315060113.
12. Yagodin B. A., Zhukov Yu. P., Kobzarenko V. I. Agrochemistry. Moscow: Mir, 2004. 584 p.
13. Workshop on agrochemistry: Textbook / Ed. by Mineeva V. G. Moscow: Moscow State University Publ., 2001. 639 p.
14. Gamzikov G. P. Problems of experimental agrochemistry. Novosibirsk: “Pechatnoe izdatelstvo Agro-Sibir OOO” (Limited Liability Company), 2013. 448p.
15. Burlakova L. M. Fertility of Altai chernozems in the system of agrocenosis: monograph. Barnaul: Altai State Agricultural University Publ., 2022. 203 p.
16. Vasbieva M.T. Changes in the fractional composition of mineral phosphates, content of mobile phosphorus and degree of mobility of phosphates along the profile of sod-podzolic soil of long-term application of fertilizers // Agrohimia. 2021. No. 7. P. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188121070115.
17. Usenko V. I., Usenko S. V., Litvintseva T. A., Shcherbakova A. A., Kobzeva I. A. Phosphorus balance and provision of leached chernozem with it depending on a crop rotation, tillage methods and fertilizers in the forest-steppe of Altai Ob Region// Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2019. Vol. 33. No. 10. P. 14–17. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-11003.

UDC 631.8:631.582:631.416.2

Voronkova N. A., Balabanova N. F., Volkova V. A., Tsyganova N. A.

AGROCHEMICAL ASSESSMENT OF THE PHOSPHATE REGIME OF MEADOW-CHERNOZEM SOIL IN AGROCENOSIS

Summary. *In modern agriculture, the development of a scientifically based fertilizer system for crop cultivation, taking into account the zonal characteristics of the region, is of urgent importance. The research purpose was to study the qualitative and group composition of phosphates in meadow-chernozems, as well as to establish the effect of systematic application of phosphorus fertilizers on the content of mobile phosphorus in the soil and on the productivity of grain-fallow crop rotation in the southern forest-steppe zone of Western Siberia. The studies were conducted in 1993–2021 at the experimental site of the*

Agrochemistry Laboratory of the Omsk Agrarian Scientific Center in a long-term stationary experiment based on grain-fallow crop rotation (bare fallow – spring wheat – soybean – spring wheat – barley). The experimental design included the following options: Factor A – mineral fertilizers, Factor B – straw. Doses of phosphorus fertilizers were calculated by Yu. P. Zhukov balance method. In our studies on determining the availability of mobile phosphorus for plants, of the three methods (Chirikov, Frantseson and Karpinsky-Zamyatina), the Chirikov's and Karpinsky-Zamyatina's were the most informative ones ($r = 0.931 \pm 0.011$). It was found that when the content of mobile phosphorus in the soil was high (according to Chirikov), the degree of phosphate mobility was low (0.14 ± 0.01). Systematic application of phosphorus-containing fertilizers on average doubled the content of mobile phosphorus in the soil. At the same time, the degree of phosphates mobility increased fivefold (0.74 ± 0.06). While studying a fractional composition of soil phosphates we revealed that in the context of long-term fertilizer application in the crop rotation the proportion of active phosphates (group 1–4) significantly increased – they amounted to 64% of the total content of mineral phosphates. No retrogradation of phosphate ions was observed. The relationship between the content of mobile phosphorus in the soil and the amount of phosphorus fertilizer P_2O_5 applied to the third rotation of the crop rotation was close ($r = 0.994 \pm 0.046$). An increase in the content of mobile phosphorus in the soil improved the productivity of crop rotation ($r = 0.884 \pm 0.111$). Systematic application of phosphorus-containing fertilizers in crop rotation at a dose of P_{42-54} and straw of cultivated crops resulted in a positive phosphorus balance of 195 kg/ha with an intensity of 276%.

Keywords: soil, fertilizers, phosphate regime, fractional composition, crop rotation, productivity.

Воронкова Наталья Артемовна, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; Россия, 644012, г. Омск, пр. Королёва, 26; e-mail: voronkova.67@bk.ru.

Балабанова Наталья Фёдоровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; Россия, 644012, г. Омск, пр. Королёва, 26; e-mail: natascha.balabanowa@mail.ru.

Волкова Виктория Андреевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; Россия, 644012, г. Омск, пр. Королёва, 26; e-mail: volkovava1989@yandex.ru.

Цыганова Надежда Александровна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, г. Омск, пр. Королёва, 26; e-mail: duxa21@mail.ru.

Voronkova Natalia Artemovna, Dr. Sc. (Agr.), chief researcher of the Laboratory of agrochemistry, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: voronkova.67@bk.ru.

Balabanova Natalia Fedorovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of agrochemistry, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: natascha.balabanowa@mail.ru.

Volkova Viktoria Andreevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of agrochemistry, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: volkovava1989@yandex.ru.

Tsyganova Nadezhda Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of agrochemistry, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: duxa21@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 04.04.2023.

Дата принятия к печати – 13.05.2023.

EDN CJZFOJ

DOI 10.5281/zenodo.8271844

УДК 632.7

Дроботова Е. Н.¹, Алейникова Н. В.², Невкрытая Н. В.¹, Каширина Н. А.¹

ВИДОВОЙ СОСТАВ КОМПЛЕКСОВ ФИТОФАГОВ ШАЛФЕЯ МУСКАТНОГО (*SALVIA SCLAREA* L.) И ШАЛФЕЯ ЛЕКАРСТВЕННОГО (*SALVIA OFFICINALIS* L.) В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНОГО КРЫМА

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

²ФГБУН «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт винограда и виноделия «Магарач» РАН»

Реферат. Актуальность данных исследований обусловлена необходимостью сохранения генофонда сортов и коллекционных образцов, выделением устойчивых к вредным организмам образцов для включения их в селекционный процесс. Для этого необходимо знать видовой состав вредителей, поражающих тот или иной сорт. Цель исследований – выявление доминантных и наиболее опасных видов вредных объектов шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.) и шалфея мускатного (*Salvia sclarea* L.) для разработки оптимальных мер их контроля и профилактики. Исследования проводили в 2020–2022 гг. на опытных участках отдела эфиромасличных и лекарственных культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (с. Крымская Роза, Белогорский район). Климат района исследований умеренно-континентальный, с теплым засушливым летом и мягкой зимой. Синэкологические обследования проведены в питомниках шалфея мускатного (сорт Ай-Тодор) и шалфея лекарственного (популяция ИЭЛР). Фаунистический учет (выявление и идентификацию, оценку распространённости, численности и вредоносности) фитофагов выполняли на протяжении вегетации растений от всходов (отрастания) до созревания семян с интервалом в 10–15 дней. На обеих культурах выполнено по 18 учетов за сезон в период с I декады марта по I декаду октября. По результатам, полученным за весь период исследования, определена таксономическая структура комплексов фитофагов обследуемых культур. Общий перечень комплексов фитофагов включает 27 видов членистоногих (25 видов насекомых и два вида клещей). Определены фитофаги, специфичные для каждого вида шалфея. Установлены виды вредителей, наиболее распространенных на обеих культурах: комплекс цикадок (*Cicadellidae* Latreille), клопы (*Pentatomidae* Leach), лепирония жукоподобная (*Leruronia coleoprata* L.). Зафиксированные и идентифицированные фитофаги были разделены на группы по индексу их доминирования. Отмечена высокая в годы изучения степень вредоносности комплексов фитофагов: цикадки (*Cicadellidae* Latreille) – 2–4 балла, тля (*Aphis nepeta* Kait.) – 2 балла, совки (*Noctuidae* Latreille) – 1–3 балла, клещи (*Tetranychidae* Donnadieu) – 2–4 балла и луговой мотылек (*Margaritia sticticalis* L.) – 1–3 балла.

Ключевые слова: эфиромасличные культуры, шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.), шалфей мускатный (*Salvia sclarea* L.), вредители, доминанты, фитофаги, степень вредоносности.

Для цитирования: Видовой состав комплексов фитофагов шалфея мускатного (*Salvia sclarea* L.) и шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.) в условиях Предгорного Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 16–29. EDN: CJZFOJ. DOI 10.5281/zenodo.8271844.

For citation: Drobotova E. N., Aleynikova N.V., Nevkrytaya N.V., Kashirina N. A. Species composition of complexes of phytophages on *Salvia sclarea* L. and *Salvia officinalis* L. under conditions of the Crimean Foothills // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 16–29. EDN: CJZFOJ. DOI 10.5281/zenodo.8271844.

Введение

В последние годы значительно возрос интерес к эфиромасличным и лекарственным растениям, что связано с широким спектром применения их сырья и продуктов его переработки в парфюмерно-косметическом, фармацевтическом, пищевом производствах, медицине, а также заменой антибиотиков натуральными фитобиотиками, к которым относятся и эфирные масла, при выращивании молодняка сельскохозяйственных животных и птицы [1].

Для удовлетворения спроса потребителей на эфиромасличную продукцию отечественного производства необходимо увеличивать площади выращивания этих культур [1]. Возделывание эфиромасличных и лекарственных растений требует уточнения и разработки агротехнических приемов возделывания, приемов и средств их защиты от вредителей и болезней [2–4].

Современная концепция защиты эфиромасличных и лекарственных культур направлена на достижение оптимального фитосанитарного состояния их агробиоценозов с минимальным использованием химических средств защиты [2]. Для эффективного применения биопрепаратов необходимо знать видовой состав вредных объектов и их вредоносность. Однако литературных сведений о систематических и целенаправленных исследованиях вредителей на большинстве лекарственных и эфиромасличных культур недостаточно, что существенно затрудняет разработку биологической защиты [5], а вред, наносимый членистоногими вредителями, может приводить к существенным потерям урожая и снижению качества эфиромасличного и лекарственного сырья [6–8].

В научных трудах имеются данные по изучению насекомых-вредителей на лекарственных и эфиромасличных культурах как в Крыму, так и в других регионах. Так, изучение видовой состава вредителей лекарственных культур в условиях Среднего Поволжья проводила Мельникова Г. В., в Центрально-Черноземном регионе – Догадина М. А. и Тухтаев Е. А., в Прииссыкулье – Дмитриева Л. Ф. [7, 9, 10]. Тимофеевой В. П. с соавторами опубликованы данные по болезням и вредителям лекарственных растений в Беларуси [11].

Почвенно-климатические условия Крыма наиболее благоприятны для возделывания большинства лекарственных и эфиромасличных культур [18–21]. Важным условием получения высокого урожая и качественной продукции является защита растений от вредных объектов, что обязывает знать видовой состав вредителей для рациональной борьбы с их численностью [22, 23]. В Крыму исследования в данном направлении проводили в Институте эфиромасличных и лекарственных растений в 70–90 гг. XX века. В частности, Чумаком В. А. проведены обследования вредных объектов на иссопе лекарственном и мяте [12–14].

Учитывая вышеизложенное, изучение видовой разнообразия вредных организмов для разработки эффективного комплекса мероприятий, направленных на снижение их численности и вредоносности при минимальном негативном воздействии на окружающую среду, является актуальным.

Проведенный в последние годы в ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (НИИСХ Крыма) фитосанитарный мониторинг коллекций эфиромасличных культур (кориандр посевной, фенхель обыкновенный, мята, роза эфиромасличная, шалфей мускатный и лаванда узколистная) на наличие вредных объектов показал, что наиболее вредоносными фитофагами являлись тля, цикадки, луговой мотылек, паутинный клещ [4, 5, 15, 16]. Однако детальный анализ вредителей каждой культуры не был проведен. Недостаточно изучена степень их вредоносности, распространенности и методы борьбы с ними [2, 17, 18].

Широко используемыми эфиромасличными и лекарственными культурами, обладающими большим потенциалом, в том числе и для сельского хозяйства (благодаря фиторемедиационным, аллелопатическим и инсектицидным свойствам) являются представители семейства Яснотковые (Lamiaceae Martinov) – шалфей мускатный (*Salvia sclarea* L.) и шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.) [24].

Шалфей мускатный – травянистое растение, которое в культуре возделывают в двухлетней форме. Высота растений достигает 1,5 м, соцветие – метелка [25–31]. Ценным продуктом переработки сырья является эфирное масло, содержащееся в соцветиях в количестве до 1,2 %. Его основные компоненты – линалилацетат (до 85 %) и линалоол (до 25 %) [24, 32–34]. Эфирное масло шалфея мускатного применяют в парфюмерно-косметическом, мыловаренном, ликероводочном, кондитерском и табачном производствах, медицине, ароматерапии. Особую ценность в медицине оно имеет благодаря антибактериальному, антисептическому, обезболивающему, тонизирующему, противовоспалительному, спазмолитическому, антиоксидантному, мочегонному, иммуномодулирующему, успокаивающему и заживляющему действию [35, 36].

Шалфей лекарственный – полукустарник с многочисленными густо облиственными стеблями, до 70 см высотой. Растение засухоустойчивое, теплолюбивое, хорошо развивается на сухих суглинистых водопроницаемых почвах. На одном участке шалфей возделывают шесть–восемь и более лет [37, 38]. Сырье и продукты его переработки широко используют в парфюмерии, косметологии и фармацевтическом производстве [39]. В медицине препараты, полученные из шалфея лекарственного (настой, препарат «Сальвин» и другие), используют при воспалительных заболеваниях полости рта, ангине, гастритах, язвенной болезни желудка, спастических колитах, цистите. Также он полезен при воспалении кожи, гнойных язвах и ранах, ожогах и обморожении [40]. Листья шалфея лекарственного содержат до 2,5 % эфирного масла, в состав которого входят цинеол, пинен, туйон, борнеол и другие терпеновые соединения, а также фенольные соединения – флавоноиды (производные лютеолина и апигенина), дубильные вещества, производные гидроксикоричных кислот (розмариновой, кофейной, хлорогеновой, феруловой), сахара и полисахариды, витамины группы В и РР, тритерпеновые сапонины – производные урсоловой и олеаноловой кислот [41–43].

Актуальность данных исследований заключается в сохранении генофонда сортов и коллекционных образцов, выделении устойчивых образцов к вредным организмам для включения их в селекционный процесс.

Цель исследований – выявление доминантных и наиболее опасных видов вредных объектов эфиромасличных культур семейства Яснотковые (Lamiaceae) – шалфея лекарственного (*S. officinalis*) и шалфея мускатного (*S. sclarea*) для дальнейшей разработки оптимальных мер их контроля и профилактики.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в 2020–2022 гг. на опытных участках отдела эфиромасличных и лекарственных культур НИИСХ Крыма (с. Крымская Роза, Белогорский район, Республика Крым). Климат района исследований умеренно-континентальный, с мягкой зимой и теплым засушливым летом [19–21].

Синэкологические обследования по выявлению видового разнообразия вредителей проведены в питомниках шалфея мускатного (сорт Ай-Тодор) и шалфея лекарственного (популяция ИЭЛР).

Фаунистический учет (выявление, идентификацию, оценку распространённости, численности и вредоносности) фитофагов выполняли на протяжении вегетации растений с интервалом в 10–15 дней. На обеих культурах в

каждый сезон выполнено по 18 учетов в период с I декады марта по I декаду октября на всех этапах развития растений от всходов (отрастания) до созревания семян. В ходе каждого обследования осматривали по 10 подряд растущих растений в 10 повторениях (рэндомизированно) в соответствии с методическими рекомендациями [44–46]. Видовую принадлежность фитофагов устанавливали с помощью определителей [47, 48].

Оценку общности комплексов фитофагов исследуемых культур определяли с помощью традиционных коэффициентов сходства (Жаккара, Чекановского–Серенсена) и различий (Стугрина–Радулеску) по их видовым спискам [49, 50].

Благоприятные погодные условия (температурный режим, осадки) 2020–2022 гг. способствовали не только активной вегетации исследуемых культур, но и массовому размножению на них членистоногих вредителей. Температурный режим в период активной вегетации растений в годы исследований был близким к средним многолетним показателям (норма) (рисунок 1). Следует отметить, что отсутствие продолжительных минусовых температур в зимний период (декабрь–январь 2020–2022 гг.) способствовало хорошей перезимовке фитофагов, что значительно повышало их численность с годами. Этому также способствовал относительно стабильный температурный режим в весенне–летний период. Осадки по месяцам в 2020–2022 гг. выпадали неравномерно (рисунок 2).

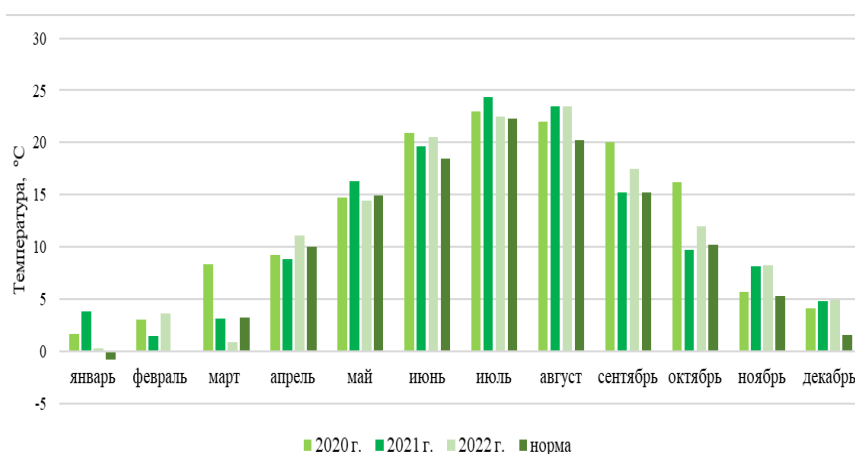


Рисунок 1 – Среднемесячная температура воздуха в период активного питания фитофагов

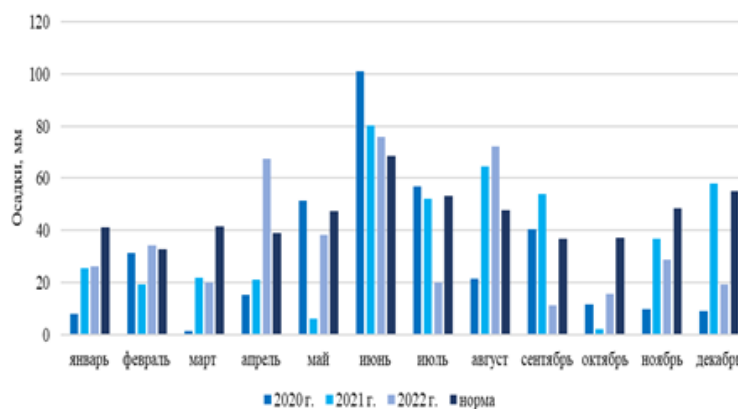


Рисунок 2 – Среднемесячное количество осадков в период активного питания фитофагов

Весенний период во все годы исследований был засушливым (исключение – апрель 2023 г. и май 2020 г.). Во все годы проведения исследований наиболее дождливым был июнь. Существенно варьировало по годам количество осадков во время обследований (июль–октябрь).

В целом погодные условия в период исследования были благоприятными для размножения и активного питания фитофагов.

Результаты и их обсуждение

По результатам фаунистических исследований в условиях 2020–2022 гг. определена таксономическая структура комплексов фитофагов обследуемых культур (таблица 1).

Таблица 1 – Таксономическая структура комплексов фитофагов шалфея лекарственного и шалфея мускатного (2020–2022 гг.)

| |
|--|
| Класс насекомые (Insecta) |
| Отряд Полужесткокрылые (Hemiptera) или Членистохоботные (Rhynchota) |
| Подотряд шеехоботные (Auchenorrhyncha) или цикадовые (Cicadinea) |
| Цикадки (Cicadellidae Latreille): пестрая цикадка (<i>Eupteryx atropunctata</i> Goeze), зелёная цикадка (<i>Cicadella viridis</i> L.) |
| Пенницы (Aphrophoridae Amyot & Serville): лепирония жукоподобная (<i>Lepyronia coleoprata</i> L.) |
| Подотряд грудохоботные (Sternorrhyncha) |
| Тли (Aphidoidea Latreille): шалфейная тля (<i>Aphis nepeta</i> Kait) |
| Отряд Бахромчатокрылые (Thysanoptera) |
| Трипсы (Thripidae Stevens): цветочный трипс (<i>Frankliniella occidentalis</i> Pergande), шалфейный трипс (<i>Taeniothrips fedorovi</i> Priesn.) |
| Подотряд клопы или разнокрылые (Heteroptera) |
| Настоящие щитники (Pentatomidae Leach): клоп луговой (<i>Lygus pratensis</i> L.), мраморный клоп (<i>Halyomorpha halys</i> L.) |
| Мириды (Capsidae): люцерновый клоп (<i>Adelphocoris lineolatus</i> L.) |
| Отряд Прямокрылые (Orthoptera) |
| Настоящие кузнечики (Tettigoniidae Krauss): изофия крымская (<i>Isophya taurica</i> Brunner von Wattenwyl) |
| Настоящие саранчовые (Acrididae MacLeay): итальянский прус (<i>Caloptenus italicus</i> L.) |
| Отряд Жесткокрылые (Coleoptera) |
| Пластинчатоусые (Scarabaeidae Latreille): майский жук (<i>Melolontha melolontha</i> L.), оленка мохнатая (<i>Tropinota hirta</i> L.) |
| Листоеды (Chrysomelidae Latreille): козявка садовая (<i>Galeruca homonae</i> Scop.), блошка крестоцветная (<i>Phyllotreta cruciferae</i> L.) |
| Долгоносики (Curculionidae Latreille): долгоносик шалфейный (<i>Ceuthorrhynchus topiarius</i> Germ.) |
| Чернотелки (Tenebrionidae Latreille): медляк песчаный (<i>Opatrum sabulosum</i> Linnaeus) |
| Отряд Чешуекрылые (Lepidoptera) |
| Совки Noctuidae Latreille: озимая совка (<i>Agrotis segetum</i> D.), совка-гамма (<i>Autographa gamma</i> L.), капустная совка (<i>Mamestra brassicae</i> L.), шалфейная совка (<i>Heliothis peltigera</i> Schiff) |
| Огнёвки-травянки (Crambidae Latreille): луговой мотылек (<i>Margaritia sticticalis</i> L.) |
| Моли-пестрянки (Gracillariidae Stainton): шалфейная минирующая моль (<i>Stagmotophora pomposella</i> Z.) |
| Отряд Двукрылые (Diptera) |
| Детритницы (Sciaridae Billberg): шалфейный комарик (<i>Dasyneura salvae</i> Kieff.) |
| Орехотворки (Cynipoidea Latreille): орехотворка шалфейная (<i>Aulax salvia</i> Gir.) |
| Класс Паукообразные (Arachnida) (надотряд Акариформные клещи (Acariformes)) |
| Отряд Тромбидиформные клещи (Trombidiformes) |
| Паутиные клещи (Tetranychidae Donnadieu): шалфейный клещ (<i>Eriophyes solvia</i> Nal.), обыкновенный паутиный клещ (<i>Tetranychus urticae</i> Koch.) |

Общий перечень комплексов фитофагов включает 27 видов членистоногих (25 видов насекомых и два вида клещей).

Данные регулярных обследований растений шалфея мускатного показали развитие 26 членистоногих вредителей, относящихся к двум классам, девяти отрядам, 18 семействам (см. таблицу 1). Из класса насекомые выявлено 25 видов, из класса клещей – один вид.

Такие же исследования проведены на шалфее лекарственном, где выявлен 21 вид фитофагов, относящихся к двум классам, девяти отрядам, 15 семействам (см. таблицу 1). Из класса насекомые выявлено 20 видов, из класса клещей – один вид.

В целом, комплексы обладают видоспецифичностью (значения коэффициентов сходств Жаккара и Чекановского–Серенсена: 0,3 и 0,4 соответственно, а различий – Стургина-Радулеску – не имеют отрицательных значений) (рисунок 3).

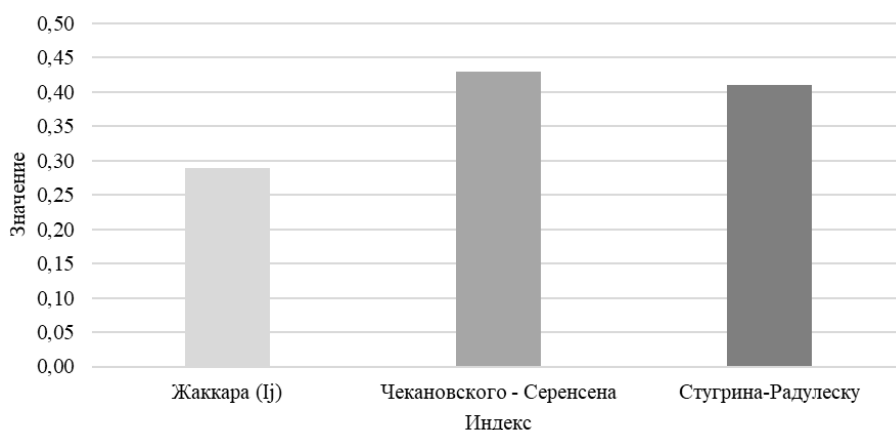


Рисунок 3 – Индексы сходства и различия комплексов фитофагов (2020–2022 гг.)

В ходе проведенных исследований удалось установить 20 общих для шалфея лекарственного и шалфея мускатного видов фитофагов: *E. atropunctata*, *C. viridis*, *L. coleoprata*, *A. nepeta*, *F. occidentalis*, *T. fedorovi*, *L. pratensis*, *H. halys*, *A. lineolatus*, *I. taurica*, *C. italicus*, *C. topiarius*, *O. sabulosum*, *A. segetum*, *A. gamma*, *M. brassicae*, *H. peltigera*, *M. sticticalis*, *S. pomposella*, *D. salvae*.

Определены фитофаги, развивающиеся только на одной из изучаемых культур:

- на шалфее мускатном выявлено шесть видов: *M. melolontha*, *T. hirta*, *G. homonae*, *P. cruciferae*, *A. salvia*, *E. solvia*;
- на шалфее лекарственном – один вид – *T. urticae* (см. таблицу 1).

Наиболее распространенными вредителями во все годы исследований на обеих культурах были: комплекс цикадок (два вида) – их распространенность была на уровне: в 2020 г. – 76–80 %, в 2021 г. – 70–73 %, в 2022 г. – 67–93 %; клопы – распространенность в 2020 г. – 74–81 %, в 2021 г. – 62–88 %, в 2022 г. – 76–86 %; лепирония жукоподобная – распространенность в 2020 г. – 66–71 %, в 2021 г. – 72–73 %, в 2022 г. – 72–79 %. Распространенность совок была на уровне 50 %. В 2022 г. распространенность лугового мотылька была высокой на обеих культурах (65–69 %) (таблица 2).

Ежегодно отмечали высокую степень вредоносности следующих фитофагов: цикадки – 2–4 балла, тля – 2 балла, совки – 1–3 балла, клещи – 2–4 балла и луговой мотылек – 1–3 балла.

Таблица 2 – Средние показатели количества вредителей на видах шалфея

| Вредитель | Распространенность % | | | Заселенность, шт./раст. | | | Степень вредоносности, макс. балл | | |
|--|-------------------------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|--------------------------------------|---------|---------|
| | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. |
| Шалфей мускатный | | | | | | | | | |
| Цикадки (<i>Cicadellidae</i> Latreille) | 80 | 70 | 93 | 22 | 19 | 21 | 3 | 2 | 4 |
| Лепирония (<i>Lepyronia coleoprata</i> L.) | 71 | 73 | 72 | 7 | 6 | 4 | 1 | 2 | 1 |
| Клопы (<i>Pentatomidae</i> Leach.) | 74 | 62 | 86 | 6 | 8 | 7 | 1 | 0 | 0 |
| Совки (<i>Noctuidae</i> Latreille) | 58 | 57 | 54 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| Тля (<i>Aphidoidea</i> Latreille) | 49 | 41 | 56 | 18 | 21 | 20 | 2 | 2 | 2 |
| Луговой мотылек (<i>Margaritia sticticalis</i> L.) | 44 | 41 | 69 | 3 | 3 | 5 | 2 | 1 | 3 |
| Клещ шалфейный (<i>Eriophyes solvia</i> Nal.) | 46 | 30 | 55 | - | - | - | 2 | 3 | 4 |
| Оленка (<i>Tropinota hirta</i> L.) | 17 | 12 | 13 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Долгоносик (<i>Curculionidae</i> Latreille) | 29 | 16 | 46 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| Орехотворка шалфейная (<i>Aulax salvia</i> Gir.) | 33 | 49 | 52 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| Шалфей лекарственный | | | | | | | | | |
| Цикадки (<i>Cicadellidae</i> Latreille) | 76 | 73 | 67 | 24 | 21 | 17 | 2 | 3 | 2 |
| Лепирония (<i>Lepyronia coleoprata</i> L.) | 66 | 72 | 79 | 4 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Клопы (<i>Pentatomidae</i> Leach.) | 81 | 88 | 76 | 5 | 8 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Совки (<i>Noctuidae</i> Latreille) | 51 | 49 | 62 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Тля (<i>Aphidoidea</i> Latreille) | 44 | 51 | 40 | 22 | 19 | 23 | 1 | 1 | 2 |
| Луговой мотылек (<i>Margaritia sticticalis</i> L.) | 48 | 44 | 65 | 4 | 3 | 6 | 2 | 1 | 3 |
| Клещ паутиный (<i>Tetranychus urticae</i> Koch.) | 20 | 25 | 33 | - | - | - | 2 | 2 | 2 |
| Долгоносик (<i>Curculionidae</i> Latreille) | 10 | 15 | 11 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 |

Зафиксированные и идентифицированные фитофаги были разделены на группы по индексу их доминирования. На обеих культурах к группе доминантов отнесены четыре комплекса фитофагов: цикадки (*Cicadellidae*), шалфейная тля (*A. nepeta*), луговой мотылек (*M. sticticalis*) и лепирония жукоподобная (*L. coleoprata*), индекс доминирования которых на шалфее мускатном и шалфее лекарственном составил 26,19 и 25,98; 21,09 и 26,14; 24,14 и 29,11; 18,84 и 14,61 соответственно (таблица 3).

К группе доминантов на шалфее мускатном также отнесен шалфейный клещ (*E. solvia*) с индексом доминирования 17,21. На двух видах шалфея по данным всех лет исследования в группу «виды-субдоминанты» вошли: настоящие щитники (*Pentatomidae*), трипсы (*Thripidae*), совки (*Noctuidae*), шалфейный комарик (*D. salvae*). Шалфейная минирующая моль (*S. pomposella*) отнесена на обеих культурах к второстепенным членам. Кроме нее, в эту группу вошли: на шалфее мускатном – козявка садовая (*G. homonae*), а на шалфее лекарственном – итальянский прус (*C. italicus*) и изофия крымская (*I. taurica*).

Таблица 3 – Показатели индекса доминирования членистоногих вредителей шалфея мускатного и шалфея лекарственного, 2020-2022 гг.

| Вредитель | Индекс частоты встречаемости, % | Индекс доминирования |
|---|---------------------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Шалфей мускатный | | |
| Цикадки (<i>Cicadellidae</i> Latreille) | 100 | 26,19 |
| Шалфейная тля (<i>Aphis nepeta</i> Kait) | 78 | 21,09 |
| Луговой мотылек (<i>Margaritia sticticalis</i> L.) | 98 | 24,14 |
| | | Виды-доминанты |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2 | 3 | |
|---|-----|-------|---------------------------|
| Лепирония жукоподобная (<i>Lepyronia coleoptrata</i> L.) | 51 | 18,84 | Виды-субдоминанты |
| Шалфейный клещ (<i>Eriophyes solvia</i> Nal.) | 71 | 17,21 | |
| Настоящие щитники (<i>Pentatomidae</i> Leach.) | 77 | 7,89 | |
| Трипсы (<i>Thripidae</i> Stevens) | 32 | 6,07 | |
| Совки (<i>Noctuidae</i> Latreille) | 62 | 9,16 | |
| Шалфейный комарик (<i>Dasyneura salvae</i> Kieff.) | 43 | 5,91 | |
| Орехотворка шалфейная (<i>Aulax salvia</i> Gir.) | 64 | 2,86 | |
| Долгоносик шалфейный (<i>Ceuthorrhynchus topiarius</i> Germ.) | 55 | 3,82 | |
| Медляк песчаный (<i>Opatrum sabulosum</i> Linnaeus) | 65 | 4,70 | |
| Оленка мохнатая (<i>Tropinota hirta</i> L.) | 24 | 0,84 | |
| Майский жук (<i>Melolontha melolontha</i> L.) | 12 | 0,68 | |
| Изофия крымская (<i>Isophya taurica</i> Brunner von Wattenwyl) | 25 | 0,62 | |
| Итальянский прус (<i>Caloptenus italicus</i> L.) | 17 | 0,55 | |
| Блошка крестоцветная (<i>Phyllotreta cruciferae</i> L.) | 38 | 0,41 | |
| Козявка садовая (<i>Galeruca homonae</i> Scop.) | 10 | 0,02 | Второстепенные члены |
| Шалфейная минирующая моль (<i>Stagmotophora pomposella</i> Z.) | 44 | 0,05 | |
| Шалфей лекарственный | | | |
| Цикадки (<i>Cicadellidae</i> Latreille) | 100 | 25,98 | Виды-доминанты |
| Шалфейная тля (<i>Aphis nepeta</i> Kait) | 71 | 26,14 | |
| Луговой мотылек (<i>Margaritia sticticalis</i> L.) | 87 | 29,11 | |
| Лепирония жукоподобная (<i>Lepyronia coleoptrata</i> L.) | 51 | 14,61 | |
| Настоящие щитники (<i>Pentatomidae</i> Leach.) | 88 | 8,19 | Виды-субдоминанты |
| Трипсы (<i>Thripidae</i> Stevens) | 23 | 4,18 | |
| Обыкновенный паутинный клещ (<i>Tetranychus urticae</i> Koch.) | 48 | 7,66 | |
| Совки (<i>Noctuidae</i> Latreille) | 33 | 9,12 | |
| Шалфейный комарик (<i>Dasyneura salvae</i> Kieff.) | 10 | 0,74 | Субдоминанты 1 порядка |
| Долгоносик шалфейный (<i>Ceuthorrhynchus topiarius</i> Germ.) | 13 | 0,45 | |
| Медляк песчаный (<i>Opatrum sabulosum</i> Linnaeus) | 67 | 0,91 | |
| Шалфейная минирующая моль (<i>Stagmotophora pomposella</i> Z.) | 31 | 0,07 | Второстепенные члены |
| Итальянский прус (<i>Caloptenus italicus</i> L.) | 17 | 0,02 | |
| Изофия крымская (<i>Isophya taurica</i> Brunner von Wattenwyl) | 10 | 0,05 | |

Таким образом, в результате проведенного исследования определены наиболее распространенные и наиболее вредоносные, как общие для шалфея мускатного и шалфея лекарственного, так и видоспецифичные вредители. Это позволит в дальнейшем подобрать эффективные средства борьбы с ними.

Выводы

По результатам трехлетних обследований шалфея мускатного и шалфея лекарственного определен видовой состав и таксономическая структура комплексов фитофагов изучаемых культур. Общий перечень комплексов фитофагов включает 27 видов членистоногих (25 видов насекомых и два вида клещей).

Большее видовое разнообразие установлено для комплексов фитофагов шалфея мускатного – 26 видов. На шалфее лекарственном выявлен 21 вид вредителей. Дана таксономическая характеристика доминантным комплексам.

Проведена оценка общности комплексов фитофагов исследуемых культур с помощью традиционных коэффициентов сходств и различий. Показано, что комплексы фитофагов исследуемых культур характеризуются видоспецифичностью.

Отмечена высокая во все годы изучения степень вредоносности фитофагов: цикадки – 2–4 балла, тля – 2 балла, совки – 1–3 балла, клещи – 2–4 балла и луговой мотылек – 1–3 балла.

Определены основные (доминантные и потенциально опасные) вредители для каждой культуры:

– для шалфея мускатного – шесть видов: *Melolontha melolontha* L., *Tropinota hirta* L., *Galeruca homonae* Scop., *Phyllotreta cruciferae* L., *Aulax salvia* Gir., *Eriophyes solvia* Nal.,

– для шалфея лекарственного – один вид – *Tetranychus urticae* Koch.

Полученные данные будут использованы для подбора эффективных средств борьбы с вредителями обеих культур.

Литература

1. 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.
2. Быков В. А., Бушковая Л. М., Пушкина Г. П. Защита лекарственных культур от вредителей, болезней и сорняков. М.: ВИЛАР, 2006. 110 с.
3. Рыбашлыкова Л. П. Вредители лекарственных растений в Северном Прикаспии и меры борьбы с ними // Материалы I Международной научно-практической Интернет-конференции, посвященная 25-летию ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия» «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования». Солёное Займище: Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, 2016. С. 1405-1408.
4. Дроботова Е. Н. Видовой состав фитофагов эфиромасличных и лекарственных культур семейства Lamiaceae в условиях Предгорного Крыма // Сборник материалов VII международной научно-практической конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки». Симферополь: ФГБУН «НИИСХ Крыма», 2022. С. 23–25.
5. Дроботова Е. Н., Каширина Н. А., Невкрытая Н. В. Видовой состав вредителей на фенхеле обыкновенном и кориандре посевном в условиях предгорья Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3 (31). С. 44–56.
6. Ергара Г. А. Видовой состав вредителей на многолетних травах и применение химических мер борьбы в условиях Северного Казахстана // Молодой ученый. 2020. Т. 15 (305). С. 305–309.
7. Мельникова Г. В., Никифорова О. И., Нестеров, В. В. Видовой состав вредителей лекарственных культур в условиях Среднего Поволжья // Молодой ученый. 2017. Т. 21. С. 42–46.
8. Бондаренко Н. В. Биологическая защита растений. Л.: Колос, 1978. 255 с.
9. Догадина М. А., Тухтаев Е. А. Видовой состав вредителей лекарственных культур в условиях Центрально-Черноземного района (на примере Орловской области) // Вестник аграрной науки. 2019. № 3 (78). С. 9–16. DOI: 10.15217/issn2587-666X.2019.3.9.
10. Дмитриева Л. Ф. Вредители лекарственных культур в Прииссыкулье и обоснование мер борьбы с ними. Дисс... канд. биол. наук. М.: Московская ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, 1985. 169 с.
11. Тимофеева В. А., Линник Л. А., Головченко Л. А. Болезни и вредители лекарственных растений // Наука и инновации. 2015. Т. 8 (15). С. 57–63.
12. Чумак В. А. Динамика численности вредителей и болезней на плантациях мяты в Крыму // Труды ВНИИЭМК. 1984. Т. XVI. С. 131–141.
13. Чумак В. А., Жалина Д. С., Петров А. С. Методические указания по оценке сортов и селекционного материала эфиромасличных культур на устойчивость к болезням и вредителям. М., 1980. 22 с.
14. Чумак В. А. Вредители иссопа лекарственного // Научные труды ЮФНУБиПУ «КАУ». 2012. № 145. С. 154–158.
15. Дроботова Е. Н. Видовой состав вредных объектов эфиромасличных культур семейства Lamiaceae в условиях Предгорного Крыма // Тезисы докладов международной научной конференции

«Проблемы селекции – 2022». М.: Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. 121 с.

16. Дроботова Е. Н. Видовой состав вредителей эфиромасличных культур ФГБУН «НИИСХ КРЫМА» // Сборник материалов V международной научной конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки». Симферополь: ФГБУН «НИИСХ Крыма», 2020. С. 47–49. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-18.

17. Филипчук О. Д., Быкова О. А., Тхаганова Р. Р. Фитосанитарное состояние лекарственных культур юга России // Таврический вестник аграрной науки. 2017. № 3 (11). С. 47–53.

18. Аджиева Л. С. Эфиромасличная отрасль в Крыму: особенности развития в 1861-1917гг. // Вестник кадровой политики, аграрного образования и инноваций. 2015. № 4–6. С. 79–81.

19. Савчук Л. П. Эфирномасличные культуры и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 104 с.

20. Савчук Л. П. Климат предгорья Крыма и эфироносы. Симферополь, 2006. 76 с.

21. Агроклиматический справочник по Крымской области. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 136 с.

22. Экономические пороги вредоносности вредителей, болезней и сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 76 с.

23. Захаренко В. А. Защита растений от вредителей и болезней. Санкт-Петербург: ВИЗР, 1998. 305 с.

24. Acimovic M., Kiprovski B., Rat M., Sikora V., Popovic V., Koren A., Brdar-Jokanovic M. *Salvia sclarea*: chemical composition and biological activity // Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management. 2018. Vol. 1(1). P. 18–28.

25. Назаренко Л. Г., Афонин А. В. Эфироносы юга Украины. Симферополь: Таврия, 2008. 144 с.

26. Лукомец В. М., Кривошлыков К. М., Зеленцов С. В. Эфиромасличные культуры. Краснодар: Просвещение-Юг, 2017. С. 100–148.

27. Зобенко Л. П. Шалфей мускатный. Селекция эфиромасличных культур: сборник // Под ред. А. И. Аринштейн. Симферополь: ВНИИЭМК, 1977. С. 66–81.

28. Eisenman S. W., Zaurov D. E., Struwe L. Medicinal plants of Central Asia: Uzbekistan and Kyrgyzstan. New York-London, Springer Heidelberg Dordrecht, 2013. 225 p.

29. Goncariuc M. Genetics and breeding of *Salvia sclarea* L. species // Hameiul si Plantele Medicinale. 2008. Vol. 31. Iss. 1–2. P. 132–139.

30. GRIN Species Records of *Salvia*. Taxon: *Salvia sclarea* L. [Germplasm Resources Information Network (GRIN)]. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland, USDA, USA. 2010.

31. Kharazian N. Karyotypic study of some *salvia* Lamiaceae species from Iran // Journal of Applied Biological Sciences. 2011. Vol. 5(3). P. 21–25.

32. Работягов В. Д., Палий А. Е., Курдюкова О. Н. Эфирные масла ароматических растений: монография. Симферополь: Ариал, 2017. С. 29–30.

33. Войткевич С. А. Эфирные масла для парфюмерии и ароматерапии. М.: Пищевая промышленность, 1999. 284 с.

34. Паштецкий В. С., Тимашева Л. А., Пехова О. А., Данилова И. Л., Серебрякова О. А. Эфирные масла и их качество. Симферополь: Ариал, 2021. С. 133–139. DOI: 10.33952/2542-0720- 978-5-907506-16-9.

35. Mahboubi M. Clary sage essential oil and its biological activities // Advances in Traditional Medicine. 2020. No. 20. P. 517-528. DOI: 10.1007/s13596-019-00420-x.

36. Sucer J., Popovic A., Petrovic M., Anackov G. T., Malencic D., Prvulovic D. Allelopathic effects and insecticidal activity of *Salvia sclarea* L. // Studia Universitatis Babeş-Bolyai. Chemia. 2015. Vol. 60(1). P. 253–264.

37. Волкова Н. Г., Абрамчук А. В., Карпухин М. Ю. Шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.) – ценное эфиромасличное сырье // Молодёжь и наука. 2018. Т. 3. 4 с.

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

39. ГОСТ 31791-2017. Эфирные масла и цветочно-травянистое эфиромасличное сырье. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 18 с.

40. Sloley V. D., Urichuk L. J., Tywin C., Coutts R. T., Pang P. K., Shan J. J. Comparison of chemical components and antioxidants capacity of different *Echinacea* species // J. Pharm. Pharmacol. 2001. Vol. 53. P. 849–857. DOI: 10.1211/0022357011776009.

41. Лекарственные растения Государственной фармакопеи // Под ред. Самылиной И. А., Северцева В. А. М.: АНМИ, 2001. 488 с.

42. Химия растительного сырья: теоретические и практические исследования. // Под ред. Базарнова Н. Г. Барнаул: АГУ, 2012. Т. 1. С. 153–160.

43. Косман В. М., Пожарицкая О. Н., Шиков А. Н., Макаров В. Г. Изучение состава биологически активных веществ сухих экстрактов эхинацеи узколистной и шалфея лекарственного // Химия растительного сырья. 2012. Т. 1. С. 153–160.
44. Палий В. Ф. Методика изучения фауны и фенологии насекомых. Воронеж: Центрально-Черноземное книжное издательство., 1970. С. 189.
45. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
46. Рекомендации по учету и выявлению вредителей и болезней сельскохозяйственных растений. Воронеж: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 1984. 274 с.
47. Методы определения болезней и вредителей сельскохозяйственных растений // Под ред. Попковой К. В., Шмыгли В. А. М.: Агропромиздат, 1987. 224 с.
48. Пикушова Э. А., Анцупова Т. Е., Девяткин А. М. Определитель вредителей сельскохозяйственных культур по повреждениям растений для юга России. Краснодар: ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», 2013. 119 с.
49. Розенберг Г. С. Введение в теоретическую экологию. Тольятти: Кассандра, 2013. Т. 2. 445 с.
50. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: Самарский научный центр РАН, 2003. 463 с.

References

1. 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.
2. Выков В. А., Bushkovskaya L. M., Pushkina G. P. Protection of medicinal crops from pests, diseases and weeds: reference book. Moscow: All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR), 2006. 110 p.
3. Rybashlykova L. P. Pests of medicinal plants in the Northern Caspian region and measures to combat them // Proceedings of the I International Scientific and Practical Internet Conference dedicated to the 25th anniversary of the Caspian Research Institute of Arid Agriculture “Modern ecological state of the natural environment and scientific-practical aspects of rational nature management”. Solenoye Zaymishche: Caspian Research Institute of Arid Agriculture, 2016. P. 1405–1408.
4. Drobotova E. N. Species composition of phytophages of the essential oil and medicinal crops (Lamiaceae family) under conditions of the Crimean Foothills // Proceedings of VII International Scientific Conference “Current State, Problems and Prospects of the Development of Agrarian Science”. Simferopol: Research Institute of Agriculture of Crimea, 2022. P. 23–25.
5. Drobotova E. N., Kashirina N. A., Nevkrytaya N. V. Species composition of pests on *Foeniculum vulgare* Mill. and *Coriandrum sativum* L. under conditions of the Crimean Foothills // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3 (31). P. 44–56.
6. Ergara G. A. Species composition of pests of perennial grasses and the use of chemical control measures in the conditions of Northern Kazakhstan // Young Scientist. 2020. Vol. 15 (305). P. 305–309.
7. Melnikova G. V., Nikiforova O. I., Nesterov V. V. Species composition of pests on medicinal crops under conditions of the Middle Volga region // Young scientist. 2017. Vol. 21. P. 42–46.
8. Bondarenko N. V. Biological protection of plants. Leningrad: Kolos, 1978. 255 p.
9. Dogadina M. A., Tukhtaev E. A. The specific list of pests of medicinal cultures in the conditions of the central chernozem area (on the example of the Orel region) // Bulletin of Agrarian Science. 2019. No. 3 (78). P. 9–16. DOI: 10.15217/issn2587-666X.2019.3.9.
10. Dmitrieva L. F. Pests of medicinal crops in the Issyk-Kul region and substantiation of measures to control them. Thesis ... Cand. Sc. (Biol.). Moscow: Lenin Order and Labor Red Banner Order Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, 1985. 169 p.
11. Timofeeva V. A., Linnik L. A., Golovchenko L. A. Diseases and plant pests of medicinal herbs // Science and Innovations. 2015. Vol. 8 (15). P. 57–63.
12. Chumak V. A., Dynamics of the number of pests and diseases on mint plantations in the Crimea // Proceedings of VNIIEMK. 1984. Vol. XVI. P. 131–141.
13. Chumak V. A., Zhalina D. S., Petrov A. S. Guidelines for assessing varieties and breeding material of essential oil crops for resistance to diseases and pests. Moscow, 1980. 22 p.
14. Chumak V. A. Pests of *Hyssopus officinalis* // Scientific works of the Southern Branch of the National University of Bioresources and Environmental Management of Ukraine “Crimean Agrotechnological University”. 2012. No. 145. P. 154–158.

15. Drobotova E. N. Species composition of pests of essential oil crops (Lamiaceae family) under conditions of the Crimean Foothills // Materials of the International Scientific Conference “Breeding problems – 2022”. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after. K.A. Timiryazev, 2022. P. 121.
16. Drobotova E. N. Pests of essential oil crops grown at the Research Institute of Agriculture of Crimea // Proceedings of V International Scientific Conference “Current State, Problems and Prospects of the Development of Agrarian Science”. Simferopol: Research Institute of Agriculture of Crimea, 2020. P. 47–49. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-18.
17. Filipchuk O. D., Bykova O. A., Tkhaganova R. R. Phytosanitary conditions of medicinal crops of Southern RF // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2017. No. 3 (11). P. 47–53.
18. Adzhieva L. S. Essential oil industry in the Crimea: features of development in 1861-1917 // Vestnik kadrovoy politiki, agrarnogo obrazovaniya i innovatsiy. 2015. No. 4–6. P. 79–81.
19. Savchuk L. P. Essential oil crops and climate. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. 104 p.
20. Savchuk L. P. The climate of the foothill areas of the Crimea and essential oil crops. Simferopol: El'in'о, 2006. 76 p.
21. Agro-climatic guide: Crimean region. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1959. 136 p.
22. The economic thresholds of harmfulness of basic pests, diseases and weeds on agricultural crops: handbook. Moscow: Rosinformagrotekh, 2016. 76 p.
23. Zakharenko V. A. Protection of plants from pests and diseases. Saint-Petersburg: All-Russian institute of plant protection (FSBSI VIZR), 1998. 305 p.
24. Acimovic M., Kiprovski B., Rat M., Sikora V., Popovic V., Koren A., Brdar-Jokanovic M. *Salvia sclarea*: chemical composition and biological activity // Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management. 2018. Vol. 1(1). P. 18–28.
25. Nazarenko L. G., Afonin A. V. Essential oil bearing plants grown in the south of Ukraine. Simferopol: Tavria, 2008. 144 p.
26. Lukomets V. M., Krivoshlykov K. M., Zelentsov S. V. Essential oil crops. Krasnodar: Prosveshcheniye-Yug, 2017. P. 100–148.
27. Zobenko L. P. *Salvia sclarea* L. Essential oil crops breeding // Ed. by Arinshtein A. I. Simferopol: All-Union Research Institute of Aromatic Crops (VNIEMK), 1977. P. 66–81.
28. Eisenman S. W., Zaurov D. E., Struwe L. Medicinal plants of Central Asia: Uzbekistan and Kyrgyzstan. New York-London, Springer Heidelberg Dordrecht, 2013. 225 p.
29. Goncariuc M. Genetics and breeding of *Salvia sclarea* L. species // Hameiul si Plantele Medicinale. 2008. Vol. 31. Iss. 1–2. P. 132–139.
30. GRIN Species Records of *Salvia*. Taxon: *Salvia sclarea* L. [Germplasm Resources Information Network (GRIN)]. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland, USDA, USA. 2010.
31. Kharazian N. Karyotypic study of some *Salvia* Lamiaceae species from Iran // Journal of Applied Biological Sciences. 2011. Vol. 5(3). P. 21–25.
32. Rabotyagov V. D., Paliy A. E., Kurdyukova O. N. Essential oils of aromatic plants: monograph. Simferopol: ARIAL, 2017. P. 29–30.
33. Voytkevich S. A. Essential oils for perfumery and aromatherapy. Moscow: Pishchevaya promyshlennost (Food Industry), 1999. 284 p.
34. Pashtetsky V. S., Timasheva L. A., Pekhova O. A., Danilova I. L., Serebryakova O. A. Essential oils and their quality. Simferopol: ARIAL, 2021. P. 133–139. DOI: 10.33952/2542-0720-978-5-907506-16-9.
35. Mahboubi M. Clary sage essential oil and its biological activities // Advances in Traditional Medicine. 2020. No. 20. P. 517–528. DOI: 10.1007/s13596-019-00420-x.
36. Scur J., Popovic A., Petrovic M., Anackov G. T., Malencic D., Prvulovic D. Allelopathic effects and insecticidal activity of *Salvia sclarea* L. // Studia Universitatis Babeş-Bolyai. Chemia. 2015. Vol. 60(1). P. 253–264.
37. Volkova N. G., Abramchuk A. V., Karpukhin M. Yu. *Salvia officinalis* L. is a valuable essential oil plant // Youth and Science. 2018. Vol. 3. P. 4.
38. Krivchik N. S., Nevkrytaya N. V., Krivda S. I., Ametova E. D., Skipor O. B. *Salvia sclarea* L. collection as a source of initial material for breeding purposes // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3 (31). P. 93–105.
39. GOST 31791-2017. Essential oils and flower-herbaceous aromatic raw materials. Specifications. Moscow: Standartinform, 2019. 18 p.

40. Sloley B. D., Urichuk L. J., Tywin C., Coutts R. T., Pang P. K., Shan J. J. Comparison of chemical components and antioxidants capacity of different Echinacea species // J. Pharm. Pharmacol. 2001. Vol. 53. P. 849–857. DOI: 10.1211/0022357011776009.
41. Medicinal plants of the State Pharmacopoeia // Ed. by Samylina I.A., Severtseva V.A. Moscow: ANMI, 2001. 488 p.
42. Chemistry of plant raw materials: theoretical and practical research. // Ed. by Bazarnova N. G. Barnaul: ASU, 2012. Vol. 1. P. 153–160.
43. Kosman V. M., Pozharitskaya O. N., Shikov A. N., Makarov V. G. Study of the composition of biologically active substances of dry extracts of *Echinacea angustifolia* and *Salvia officinalis* // Khimija rastitel'nogo syr'ja (Chemistry of plant raw material). 2012. Vol. 1. P. 153–160.
44. Paliy V. F. Methods of studying the fauna and phenology of insects. Voronezh: Tsentralno-Chernozemnoe knizhnoe izdatelstvo, 1970. 189 p.
45. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 352 p.
46. Recommendations for accounting and detection of pests and diseases of agricultural crops. Voronezh: All-Russian Research Institute of Plant Protection, 1984. 274 p.
47. Methods for determining diseases and pests of agricultural plants // Ed. by Popkova K. V., Shmygli V. A. Moscow: Agropromizdat, 1987. 224 p.,
48. Pikushova E. A., Antsupova T. E., Devyatkin A. M. Pests identification guide in the context of plant damage in the south of Russia. Krasnodar: Kuban State Agrarian University, 2013. 119 p.
49. Rozenberg G. S. Introduction to theoretical ecology. Togliatti: Kassandra, 2013. Vol. 2. 445 p.
50. Shitikov V. K., Rozenberg G. S., Zinchenko T. D. Quantitative hydroecology: methods of system identification. Tolyatti: Samara Federal Research Scientific Center of Russian Academy of Sciences, 2003. 463 p.

UDC 632.7

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

SPECIES COMPOSITION OF COMPLEXES OF PHYTOPHAGES ON SALVIA SCLAREA L. AND SALVIA OFFICINALIS L. UNDER CONDITIONS OF THE CRIMEAN FOOTHILLS

Summary. *The necessity of carrying out studies in the given direction was based on the need to preserve the gene pool of S. officinalis and S. sclarea varieties and collection specimens, identify pest-resistant ones among them and include the best ones in the breeding process. For this purpose, it is necessary to know the species composition of pests affecting a particular variety. The aim of the research was to identify dominant and the most dangerous pests of Salvia officinalis L. and Salvia sclarea L. in order to develop optimal measures to control their development and reduce their impact on cultivated crops. The studies were carried out in 2020–2022 at the experimental fields of the Department of Aromatic and Medicinal Plants – structural unit of the Research Institute of Agriculture of Crimea (village of Krymskaya Roza, Belogorsky district). The climate of the region is temperate continental: summers are warm and dry; winters are mild. Synecological surveys were conducted at S. sclarea (var. 'Ai-Todor') and S. officinalis (population 'IELR') nurseries. All accountings (detection and identification, estimation of prevalence, abundance and harmfulness) of phytophages were carried out every 10–15 days during all period of plants vegetation: from sprouting (regrowth) to seed ripening. From the first ten-day period of March to the first ten-day period of October, we conducted 18 accountings of pests on both crops. According to the results obtained during the whole period of study, the taxonomic structure of complexes of phytophages on S. sclarea and S. officinalis was determined. The total list of complexes of phytophages includes 27 arthropod species (25 species of insects and 2 species of mites). We also identified phytophages specific to each sage species. The following phytophages were typical for both crops: complexes of*

leafhoppers (Cicadellidae Latreille), shield bugs or stink bugs (Pentatomidae Leach), as well as Lepyrionia coleoptrata – a species of spittlebug in the Aphrophoridae family. All the recorded and identified phytophages were divided into groups based on the index of their dominance. In the years of study, the most significant damage was caused by leafhoppers (Cicadellidae Latreille) – 2–4 points, aphids (Aphis nepeta Kait.) – 2 points, cutworms or armyworms (Noctuidae Latreille) – 1–3 points, mites (Tetranychidae Donnadieu) – 2–4 points and meadow moth (Margaritia sticticalis L.) – 1–3 points.

Keywords: *essential oil crops, Salvia officinalis L., Salvia sclarea L., pests, dominants, phytophages, harmful effects of pests.*

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

Алейникова Наталья Васильевна, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории защиты растений, ФГБУН «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт винограда и виноделия «Магарач» РАН»; 298600, Россия, Республика Крым, г. Ялта, ул. Кирова, 31; e-mail: priemnaya@magarach-institut.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.

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

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

Aleynikova Natalya Vasilievna, Dr. Sc. (Agr.), chief researcher, Laboratory of plant protection, FSBSI “All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” RAS”; 31, Kirova str., Yalta, Republic of Crimea, 298600, Russia; e-mail: priemnaya@magarach-institut.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.

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

Дата поступления в редакцию – 31.05.2023.

Дата принятия к печати – 13.06.2023.

EDN DTKLHD

DOI 10.5281/zenodo.8271879

УДК 634.232:581.19

Жбанова Е. В., Лукьянчук И. В.

**БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ И ОТБОРНЫХ ФОРМ ЗЕМЛЯНИКИ В
УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РАЙОНА**

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

Реферат. Земляника садовая (*Fragaria × ananassa Duch.*) – одна из самых популярных и экономически важных ягодных культур, выращиваемых во всем мире. В последнее время значительно возрос интерес к выведению сортов земляники, богатых полезными фитохимическими веществами. Цель исследования состояла в комплексной оценке химического состава плодов перспективных сортов и отборных форм земляники в условиях Центрально-Черноземного района и выделении источников для диетического (лечебно-профилактического) питания и технологической переработки. Объектами исследования служили сорта и перспективные отборные формы земляники, созданные с использованием методов интрогрессивной и межсортовой гибридизации, селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И. В. Мичурина», а также зарубежные сорта (всего 26 образцов). Изучение химического состава плодов проводили в 2018–2022 гг. на приборно-аналитической базе лаборатории биохимии и пищевых технологий с применением стандартных методов анализа. Определены следующие параметры показателей химического состава плодов: содержание растворимых сухих веществ – 11,0 % Brix, суммы сахаров – 7,9 %, органических кислот – 0,84 %, аскорбиновой кислоты – 60,3 мг/100 г, антоцианов – 59,3 мг/100 г. Наибольшим содержанием сахаров (более 9,0 % по средним многолетним данным) отличались сорта Ласточка, Флора, отборная форма 35-16 (922-67 × *Maryshka*). Все исследованные образцы характеризовались оптимальной для культуры земляники кислотностью. Высокий сахаро-кислотный индекс отмечен у сортов Ласточка (15,2), Яркая (11,6), *VimaZanta* (12,2), отборных форм 26-5 (Рубиновый кулон × 298-19-9-43 – 11,5), 928-12 (298-19-9-43 × Привлекательная – 11,4). Высоким содержанием витамина С (90,8 мг/100 г по средним многолетним данным) характеризовалась отборная форма 56-7 (*Gigantella Maxim* × Привлекательная). Максимальное значение признака у нее достигало 110,4 мг/100 г. Значительным накоплением витамина С отличалась также отборная форма 25-1 (Рубиновый кулон × *Maryshka*) – среднее многолетнее – 79,1 мг/100 г, максимальное – 84,9 мг/100 г. Темной окраской плодов и повышенным накоплением антоцианов характеризовались сорта Флора и Привлекательная (среднее многолетнее значение – 66,8 и 76,5 мг/100 г соответственно). Более 100 мг/100 г антоцианов по средним многолетним данным отмечено у отборных форм 21-14 (Урожайная ЦГЛ × Рубиновый кулон), 25-1 (Рубиновый кулон × *Maryshka*), 35-1 (922-67 × *Maryshka*). Выделенные генотипы, обладающие высокими показателями качества плодов, рекомендованы для использования в диетическом питании, технологической переработке и замораживании, а также в дальнейшей селекционной работе.

Ключевые слова: земляника садовая (*Fragaria × ananassa Duch.*), химический состав, пищевая ценность, аскорбиновая кислота, антоцианы.

Для цитирования: Жбанова Е. В., Лукьянчук И. В. Биохимические показатели качества плодов перспективных сортов и отборных форм земляники в условиях Центрально-Черноземного района // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 30–38. EDN: DTKLHD. DOI 10.5281/zenodo.8271879.

For citation: Zhbanova Ye. V., Luk'yanchuk I. V. Biochemical indices of fruit quality in promising strawberry varieties and selected forms under conditions of the Central Chernozem Region // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 30–38. EDN: DTKLHD. DOI 10.5281/zenodo.8271879.

Введение

Земляника садовая (*Fragaria × ananassa* Duch.) – одна из самых популярных и экономически важных ягодных культур, выращиваемых во всем мире. Среди ягод она наиболее предпочтительна благодаря изысканному вкусу, аромату, богатству биологически активными соединениями [1]. Разработанные ранее селекционные программы по землянике были сосредоточены, как правило, на выведении сортов с определенными хозяйственно ценными (урожайность, крупноплодность, устойчивость к болезням и вредителям) и сенсорными признаками (вкус, привлекательный внешний вид). Однако в последнее время значительно возрос интерес к выведению сортов, богатых полезными для здоровья фитохимическими веществами [2].

Плоды земляники – важный источник фитонутриентов – сахаров, органических кислот, аскорбиновой кислоты, фенольных кислот, флавоноидов, антоцианов, минеральных веществ [1, 3–5]. Благодаря высокой пищевой ценности землянику считают продуктом функционального питания [3]. В многочисленных клинических исследованиях показано, что плоды земляники способствуют снижению риска развития ряда хронических заболеваний, таких как рак, сердечно-сосудистые заболевания, ожирение, диабет, воспалительные и нейродегенеративные заболевания (болезни Паркинсона, Альцгеймера) [6].

Аскорбиновая кислота (витамин С) принадлежит к важнейшим биологически активным соединениям, необходимым для нормального функционирования организма. Аскорбиновая кислота (АК) и продукт ее окисления – дегидроаскорбиновая кислота (ДАК) участвуют во всех окислительно-восстановительных реакциях, активирует пищеварительные ферменты, способствуют синтезу белка коллагена, входящему в состав тканей суставов, стенок кровеносных сосудов, обеспечивают нормальный иммунологический статус организма и его устойчивость к инфекциям и стрессу, усиливают активность фагоцитов – клеток крови, уничтожающих возбудителей болезней. Витамин С как антиоксидант играет защитную роль при сердечно-сосудистых заболеваниях. Аскорбиновая кислота жизненно важна для правильного функционирования иммунной системы, так как принимает участие в иммуномодулирующих процессах. Витамин С является кофактором многочисленных ферментов, содержащих ионы железа, то есть гидроксилаз и оксигеназ [7]. Недостаток витамина С характерен для значительной части (10–30 %) взрослого и детского населения РФ, особенно в зимне-весенний период года, что обусловлено недостаточным и нерегулярным потреблением зелени, свежих овощей и фруктов [8].

Антоцианы – хорошо известные полифенольные соединения, определяющие окраску плодов и ягод, и в количественном отношении являющиеся наиболее важными в плодах земляники. Кроме того, они обладают высокой антиоксидантной активностью. Благодаря применению современных методов высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в плодах земляники идентифицировано более 25 различных антоциановых пигментов, составлен антоциановый профиль. Основные антоциановые соединения данной культуры – пеларгонидин-3-*O*-глюкозид и пеларгонидин-3-*O*-рутинозид. В меньшем количестве обнаруживается цианидин-3-*O*-глюкозид [9–12]. Пеларгонидин-3-*O*-глюкозид обеспечивает характерный ярко-красный цвет плодов земляники, а цианидин-3-*O*-глюкозид определяет более темный красный цвет [13]. Темноокрашенные плоды наиболее предпочтительны как в

отношении антиоксидантных свойств, так и в плане наибольшей пригодности для переработки и замораживания.

Плоды земляники характеризуются высокой антиоксидантной активностью благодаря высокому содержанию полифенолов, среди которых преобладают антоцианины – 41 %; флаван-3-олы составляют 28 %, эллаготаннины – 14 %, коричные кислоты (конъюгированные) – 13 %, флавонолы – 3 %, эллаговая кислота (конъюгированная) – 1 % [10]. Земляника входит в список 100 продуктов с максимальным значением ORAC (oxygen radical absorbance capacity – способность поглощения радикалов кислорода) – 3577 мкмольТЕ/100 г, превосходя смородину красную, вишню, крыжовник [3].

В Польше А. Nowicka с сотрудниками [14] при исследовании большого массива сортов выделили формы с высокими антиоксидантными свойствами: Roxana, Gigaline, Selvik, ThurigaISK, Eratina, Siria, Dagol, Plarionfre, Grenadier, Kimberly. При изучении генетических ресурсов земляники Т. Dzhanzevova с сотрудниками [11] выделили форму S94, сочетающую высокую антиоксидантную активность (4,6 ммоль эквивалентов тролокса g^{-1} сырой массы плодов и 24,6 ммоль Fe^{2+} g^{-1} сырой массы плодов) и общее содержание антоцианов (1,76 г kg^{-1} сырой массы плодов) в пересчете на цианидин-3-О-глюкозид. Корейскими исследователями [15] выделены ценные сорта: Josaenghongshim (с наибольшим содержанием полифенолов и флавоноидов) и Seolhyang (с высокой антиоксидантной активностью, измеренной по методу ABTS ([2,2'-azinobis(3-ethylbenzthiazoline)-6-sulfonic acid] – [2,2'-азино-бис(этилбензтиазолин – 6 сульфоновая кислота)]) – $9179 \pm 1,0$ ммольТЕ/100 г сырой массы). Турецкими исследователями [4] выделены сорта Rubygem, Victoria и FL-127, характеризующиеся высоким накоплением биологически активных веществ (включая полифенольные соединения) и антиоксидантной способностью.

Цель исследований – комплексная оценка химического состава плодов перспективных сортов и отборных форм земляники в условиях Централь-Черноземного района и выделение источников для диетического (лечебно-профилактического) питания и технологической переработки.

Материалы и методы исследований

Объектами исследования служили 26 образцов земляники: сорта и перспективные отборные формы, созданные в ФНЦ им. И. В. Мичурина с использованием методов интрогрессивной и межсортовой гибридизации, а также зарубежные сорта (таблица 1).

Таблица 1 – Объекты исследования

| Сорт | Происхождение |
|-----------------------|--|
| 1 | 2 |
| Ласточка | 922-67 × Привлекательная (ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина», Россия) |
| Привлекательная | Рубиновый кулон × Albritton (ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина», Россия) |
| Урожайная ЦГЛ | Senga Sengana × Redcoat (ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина», Россия) |
| Флора | Senga Sengana × Redcoat (ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина», Россия) |
| Юниол | Ордена трудового красного знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, Республика Крым, Россия |
| Яркая | Senga Sengana × Redcoat (ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина», Россия) |
| Elianny | оригинатор – Albert Konnings / Geobr. Vissers., Нидерланды |
| Kimberly | Gorella × Chandier (Агрохолдинг «VissersAardbeiplanten B.V.», Нидерланды) |
| Korona | Tamella × Induka (Институт селекции плодовоощных культур, Вагенинген, Нидерланды) |
| VimaZanta | Elsanta × Korona (Агрохолдинг «VissersAardbeiplanten B.V.», Нидерланды) |
| Отборная форма | |
| 21-14 | Урожайная ЦГЛ × Рубиновый кулон |
| 25-1 | Рубиновый кулон × Maryshka |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 |
|--------|---|
| 26-5 | Рубиновый кулон × 298-19-9-43 |
| 26-8 | |
| 26-10 | |
| 35-1 | 922-67 × Maryshka |
| 35-5 | |
| 35-8 | |
| 35-16 | |
| 56-7 | Gigantella Maxim × Привлекательная |
| 56-17 | |
| 56-19 | |
| 911-16 | Фейерверк × Фестивальная ромашка |
| 914-13 | Фестивальная × Привлекательная |
| 928-12 | 298-19-9-43 × Привлекательная |
| 933-4 | <i>F. virginiana ssp. platipetala</i> × Рубиновый кулон |

Исследования химического состава проводили в 2018–2022 гг. на базе лаборатории биохимии и пищевых технологий. Содержание растворимых сухих веществ, выраженное в % $Brix$, оценивали с помощью цифрового рефрактометра RX-5000i, Atago, Япония (ГОСТ ISO 2173-2013). Общую кислотность определяли титрованием водного экстракта гомогената плодов 0,1 N раствором NaOH (ГОСТ ISO 750-2013); результаты выражали в процентах лимонной кислоты. Сумму сахаров определяли по методу Бертрана (ГОСТ 8756.13-87), содержание аскорбиновой кислоты – по ГОСТ 24556-89. Для титрования использовали автоматический титратор G20S серии Titration Compact, Mettler Toledo, Швейцария. Титрование проводили в трехкратной повторности. Суммарное содержание антоцианов определяли методом рН-дифференциальной спектрофотометрии (спектрофотометр Genesys 10uv, Thermo, США) по ГОСТ 32709-2014. Результаты выражали в мг/100 г сырого веса в пересчете на цианидин-3-глюкозид.

Результаты и их обсуждение

В таблице 2 отражены параметры показателей химического состава плодов в исследуемой группе образцов земляники. По содержанию растворимых сухих веществ среднее арифметическое совпадает с медианой. Среднее арифметическое по содержанию сахаров несколько отличается от медианы (7,9 и 8,0 % соответственно). Среднее арифметическое по содержанию кислот совпадает и с медианой, и модой. Содержание аскорбиновой кислоты составило в среднем 60,3 мг/100 г; медиана и мода – 60,0 мг/100 г. У наиболее варьирующего по сортам показателя – содержание антоцианов, медиана и мода более заметно отличались от среднего арифметического.

Таблица 2 – Статистические параметры показателей химического состава плодов земляники

| Показатель | Описательная статистика | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------|---------------|-------------|----------|
| | среднее, М | стандартная ошибка, m | минимум-максимум | интервал, (Δ) | медиана, Md | мода, Md |
| PCB, % $Brix$ | 11,0 | 0,2 | 8,5–12,2 | 3,7 | 11,0 | 12,1 |
| Сумма сахаров, % | 7,9 | 0,2 | 6,2–9,4 | 3,2 | 8,0 | 8,3 |
| Титруемая кислотность, % | 0,84 | 0,02 | 0,62–1,09 | 0,47 | 0,84 | 0,84 |
| Сахар/кислота | 9,8 | 0,3 | 7,4–15,2 | 7,8 | 9,6 | 8,4 |
| Витамин С, мг/100 г | 60,3 | 2,0 | 38,4–90,8 | 52,4 | 60,0 | 60,0 |
| Антоцианы, мг/100 г | 59,3 | 4,9 | 30,4–110,4 | 80,0 | 56,3 | 39,7 |

Несмотря на особую актуальность высокого содержания в плодах новых сортов земляники биологически активных компонентов, содержание сахаров и органических кислот, во многом определяющих гармоничный вкус, остается важным критерием. Минимальное за период исследования содержание растворимых сухих веществ и сахаров отмечено у отборной формы 56-19 – 7,6 % Brix и 5,0 % соответственно, максимальное значение отмечено у сорта Флора: РСВ – 16,4 % Brix, сахаров – 13,3% (таблица 3).

Таблица 3 – Химический состав плодов перспективных сортов и отборных семян земляники (среднее за 2018–2022 гг.)

| Сорт, отборная форма | Показатель | | | | | |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | РСВ, % Brix | Сумма сахаров, % | Титруемая кислотность, % | Сахар/кислота | Витамин С, мг/100г | Антоцианы, мг/100г |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| Ласточка | $11,9 \pm 1,2^*$ 10,0–15,4 | $9,3 \pm 0,8$ 8,3–11,8 | $0,62 \pm 0,04$ 0,52–0,69 | $15,2 \pm 1,5$ 12,6–19,0 | $55,0 \pm 3,2$ 46,7–60,3 | $39,7 \pm 3,4$ 34,2–48,8 |
| Привлекательная | $11,6 \pm 0,8$ 9,7–14,6 | $8,8 \pm 0,9$ 7,5–12,4 | $0,96 \pm 0,04$ 0,86–1,10 | $9,3 \pm 1,3$ 7,4–14,4 | $70,7 \pm 4,7$ 61,9–85,8 | $76,5 \pm 6,5$ 59,1–92,1 |
| Урожайная ЦГЛ | $10,6 \pm 0,5$ 9,3–12,6 | $7,8 \pm 0,5$ 6,8–9,7 | $0,97 \pm 0,09$ 0,62–1,18 | $8,3 \pm 0,9$ 6,9–11,9 | $60,0 \pm 3,6$ 54,4–74,0 | $30,4 \pm 3,1$ 22,1–41,0 |
| Флора | $12,1 \pm 1,2$ 9,9–16,4 | $9,2 \pm 1,2$ 7,0–13,3 | $1,09 \pm 0,05$ 0,94–1,23 | $8,5 \pm 1,04$ 6,2–11,6 | $60,8 \pm 4,3$ 49,6–76,1 | $66,8 \pm 5,3$ 53,1–84,7 |
| Юниол | $9,1 \pm 0,5$ 8,3–9,9 | $6,6 \pm 0,2$ 6,3–6,9 | $0,65 \pm 0,11$ 0,50–0,86 | $10,5 \pm 1,3$ 8,0–12,6 | $38,4 \pm 4,2$ 30,1–42,7 | $39,7 \pm 6,4$ 30,8–52,2 |
| Яркая | $10,5 \pm 0,7$ 9,1–11,6 | $7,9 \pm 0,3$ 7,4–8,4 | $0,69 \pm 0,05$ 0,59–0,76 | $11,6 \pm 0,4$ 11,0–12,5 | $55,4 \pm 5,3$ 47,1–65,4 | $30,7 \pm 2,2$ 27,0–34,6 |
| Elianny | $10,1 \pm 0,8$ 9,1–11,6 | $7,4 \pm 1,1$ 5,9–9,6 | $0,78 \pm 0,09$ 0,68–0,97 | $9,9 \pm 2,2$ 6,1–13,7 | $46,2 \pm 7,6$ 33,2–59,4 | $34,2 \pm 0,4$ 33,4–34,9 |
| Kimberly | $8,5 \pm 0,3$ 8,0–8,9 | $6,2 \pm 0,4$ 5,4–6,9 | $0,82 \pm 0,08$ 0,71–0,97 | $7,8 \pm 1,2$ 5,6–9,7 | $58,9 \pm 5,0$ 49,5–66,7 | $36,8 \pm 6,1$ 24,6–43,9 |
| Korona | $9,4 \pm 0,7$ 7,9–10,4 | $6,8 \pm 0,9$ 5,1–7,8 | $0,75 \pm 0,11$ 0,61–0,96 | $9,7 \pm 2,3$ 5,3–12,8 | $60,7 \pm 3,9$ 54,8–68,1 | $37,6 \pm 5,0$ 31,7–47,5 |
| VimaZanta | $10,6 \pm 0,5$ 9,6–11,5 | $8,6 \pm 1,0$ 6,5–9,7 | $0,73 \pm 0,08$ 0,59–0,86 | $12,2 \pm 2,5$ 7,6–16,1 | $60,0 \pm 6,2$ 48,9–70,4 | $56,4 \pm 3,8$ 51,9–63,9 |
| 21-14 | $10,5 \pm 0,6$ 9,1–12,1 | $7,6 \pm 0,4$ 6,7–8,4 | $0,80 \pm 0,07$ 0,64–0,92 | $9,9 \pm 1,4$ 7,3–13,1 | $59,3 \pm 6,3$ 46,9–75,2 | $110,4 \pm 14,1$ 79,3–145,9 |
| 25-1 | $11,8 \pm 0,4$ 11,1–12,6 | $8,0 \pm 0,9$ 6,8–9,7 | $0,80 \pm 0,06$ 0,72–0,91 | $10,2 \pm 1,6$ 8,4–13,5 | $79,1 \pm 3,4$ 73,0–84,9 | $108,5 \pm 5,2$ 101,3–118,6 |
| 26-5 | $12,1 \pm 0,7$ 11,3–13,5 | $8,8 \pm 0,4$ 8,1–9,6 | $0,77 \pm 0,09$ 0,61–0,91 | $11,5 \pm 0,9$ 10,5–13,3 | $61,9 \pm 1,4$ 59,0–63,4 | $56,2 \pm 3,6$ 48,9–59,9 |
| 26-8 | $12,0 \pm 1,0$ 10,9–14,0 | $7,2 \pm 1,0$ 5,8–9,1 | $0,84 \pm 0,10$ 0,64–0,96 | $8,7 \pm 1,3$ 6,0–10,3 | $50,3 \pm 3,2$ 44,8–55,9 | $38,2 \pm 4,0$ 30,7–44,4 |
| 26-10 | $12,2 \pm 1,4$ 9,7–14,5 | $8,7 \pm 1,0$ 6,8–10,4 | $0,93 \pm 0,02$ 0,91–0,97 | $9,4 \pm 1,3$ 7,0–11,4 | $65,3 \pm 6,3$ 55,9–77,4 | $56,7 \pm 5,1$ 50,3–66,7 |
| 35-1 | $12,1 \pm 0,1$ 11,8–12,4 | $8,1 \pm 0,4$ 6,9–8,8 | $0,84 \pm 0,04$ 0,76–0,94 | $9,7 \pm 0,9$ 7,6–11,6 | $58,2 \pm 5,7$ 44,0–70,5 | $103,3 \pm 14,0$ 87,6–131,3 |
| 35-5 | $10,2 \pm 0,2$ 9,8–10,7 | $7,0 \pm 0,2$ 6,7–7,4 | $0,86 \pm 0,08$ 0,66–1,07 | $8,4 \pm 0,8$ 6,7–10,2 | $56,1 \pm 1,5$ 51,9–59,0 | $59,3 \pm 2,3$ 52,7–62,7 |
| 35-8 | $11,1 \pm 0,5$ 9,2–12,1 | $7,8 \pm 0,4$ 6,3–8,7 | $0,93 \pm 0,04$ 0,79–1,05 | $8,4 \pm 0,2$ 8,0–9,3 | $60,7 \pm 3,4$ 48,6–69,5 | $64,8 \pm 7,0$ 44,0–81,7 |
| 35-16 | $11,8 \pm 1,0$ 9,0–13,6 | $9,4 \pm 0,5$ 8,8–10,4 | $0,92 \pm 0,03$ 0,86–0,96 | $10,3 \pm 0,3$ 9,8–10,8 | $54,6 \pm 5,9$ 37,3–63,8 | $94,5 \pm 12,1$ 64,1–117,2 |
| 56-7 | $11,8 \pm 0,2$ 11,4–12,1 | $8,3 \pm 0,5$ 7,2–9,0 | $1,04 \pm 0,16$ 0,77–1,34 | $8,4 \pm 1,7$ 6,4–11,7 | $90,8 \pm 9,9$ 78,1–110,4 | $57,6 \pm 7,6$ 43,5–69,4 |
| 56-17 | $10,8 \pm 1,0$ 8,9–11,9 | $7,1 \pm 0,4$ 6,3–7,6 | $0,98 \pm 0,12$ 0,86–1,21 | $7,4 \pm 0,7$ 6,2–8,8 | $64,8 \pm 3,1$ 59,0–69,5 | $56,0 \pm 4,2$ 49,2–63,7 |
| 56-19 | $10,9 \pm 1,7$ 7,6–13,1 | $7,0 \pm 1,0$ 5,0–8,4 | $0,84 \pm 0,04$ 0,78–0,92 | $8,4 \pm 1,5$ 5,4–10,1 | $63,9 \pm 4,8$ 54,3–70,4 | $53,7 \pm 10,2$ 36,1–71,4 |
| 911-16 | $10,7 \pm 0,7$ 9,5–12,1 | $8,2 \pm 0,7$ 7,2–9,6 | $0,91 \pm 0,13$ 0,70–1,15 | $9,5 \pm 2,1$ 6,7–13,7 | $48,8 \pm 3,5$ 43,6–55,4 | $33,8 \pm 1,1$ 32,3–36,1 |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 |
|--------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 914-13 | $12,2 \pm 0,9$ 10,4–13,5 | $8,3 \pm 0,8$ 6,7–9,2 | $0,81 \pm 0,11$ 0,64–1,02 | $10,6 \pm 1,8$ 8,6–14,2 | $64,3 \pm 5,5$ 54,1–72,8 | $59,8 \pm 7,9$ 46,5–73,9 |
| 928-12 | $12,1 \pm 1,0$ 10,0–13,3 | $8,3 \pm 0,7$ 7,0–9,1 | $0,74 \pm 0,06$ 0,63–0,83 | $11,4 \pm 1,5$ 9,2–14,4 | $64,9 \pm 2,1$ 61,3–68,6 | $99,8 \pm 7,3$ 89,2–113,9 |
| 933-4 | $10,5 \pm 1,2$ 8,1–14,0 | $8,2 \pm 0,8$ 7,2–9,7 | $0,90 \pm 0,03$ 0,85–0,96 | $9,2 \pm 0,9$ 8,0–11,0 | $60,0 \pm 2,0$ 55,1–63,4 | $40,0 \pm 6,2$ 28,1–57,5 |

Примечание. * – в числителе – средняя арифметическая величина (M) и стандартная ошибка (m); в знаменателе – пределы варьирования (min-max).

Наибольшим содержанием сахаров (выше 9,0 % по средним многолетним данным) отличались сорта Ласточка, Флора, отборная форма 35-16. Все исследованные образцы характеризовались умеренной кислотностью. Наименьшее за период исследования содержание органических кислот выявлено у сорта Юниол (0,50 %), наибольшее – у отборной формы 56-17 (1,34 %).

Согласно современным рекомендациям [16], в плодах новых сортов земляники должно содержаться: растворимых сухих веществ – более 12%, сахаров – более 8%, аскорбиновой кислоты – более 80 мг/100 г, антоцианов – более 80 мг/100 г, органических кислот – не выше 1,5 %. По содержанию растворимых сухих веществ заданному критерию (выше 12,0 % Brix) соответствовали сорт Флора и отборные формы 26-5, 26-8, 35-1, 914-13, 928-12. Высоким среднемноголетним уровнем содержания растворимых сухих веществ характеризовался сорт Ласточка (11,9 % Brix) и отборные формы 35-16 (11,8 % Brix), 56-7 (11,8 % Brix).

Сахарно-кислотный индекс (СКИ) важен для определения десертных качеств плодов и ягод. Высокий СКИ отмечен у сортов Ласточка (15,2), Яркая (11,6), VimaZanta (12,2), отборных форм 26-5 (11,5), 928-12 (11,4).

Интервалы изменчивости по содержанию витамина С в плодах земляники составили от 43,6 до 110,4 мг/100 г. Из всего исследованного массива образцов наиболее высоким уровнем содержания витамина С (90,8 мг/100 г по среднемноголетним данным) характеризовалась отборная форма 56-7 – максимальное значение признака у нее достигало 110,4 мг/100 г. Высоким накоплением витамина С также отличалась отборная форма 25-1 (среднее многолетнее – 79,1 мг/100 г, максимальное – 84,9 мг/100 г). Низкое содержание витамина С установили у отборной формы 911-16 (среднее многолетнее – 48,8 мг/100 г).

Исследованные сорта и отборные формы характеризовались большим разнообразием по накоплению в плодах антоцианов – от 22,1 до 145,9 мг/100 г. Темной окраской плодов и повышенным накоплением антоцианов отличались сорта Флора и Привлекательная (среднее многолетнее значение – 66,8 и 76,5 мг/100 г соответственно). Более 100 мг/100 г антоцианов по среднемноголетним данным отмечено у отборных форм 21-14, 25-1, 35-1. Немного ниже данный показатель у отборных форм 35-16 (94,5 мг/100 г) и 928-12 (99,8 мг/100 г).

Выводы

В результате проведенных исследований получена развернутая характеристика перспективных сортов и отборных форм земляники по химическому составу плодов.

Высоким содержанием сахаров (> 9,0 % по средним многолетним данным) отличались сорта Ласточка, Флора, отборная форма 35-16 (922-67 × Maryshka); аскорбиновой кислоты – отборные формы 56-7 (Gigantella Maxim × Привлекательная) – среднее многолетнее 90,8 мг/100 г, 25-1 (Рубиновый кулон × Maryshka) – среднее многолетнее 79,1 мг/100 г.; антоцианов (>100 мг/100 г по средним многолетним данным) – отборные формы 21-14 (Урожайная ЦГЛ × Рубиновый кулон), 25-1

(Рубиновый кулон × Maryshka), 35-1(922-67 × Maryshka). Выделенные генотипы, обладающие высокими показателями качества плодов, рекомендованы для использования в диетическом питании, технологической переработке и замораживании, а также в дальнейшей селекционной работе.

Литература

1. Акимов М. Ю., Лукьянчук И. В., Жбанова Е. В., Лыжин А. С. Плоды земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) как ценный источник пищевых и биологически активных веществ (обзор) // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 5–18. DOI: 10.14258/jcprm.2020015511.
2. Mezzetti B., Balducci F., Capocasa F., Zong C.-F., Cappelletti R., Di Vittori L., Mazzoni L., Giampieri F., Battino M. Breeding strawberry for higher phytochemicals content and claim it: is it possible? // International Journal of Fruit Science. 2016. Vol. 16(1). P. 194–206. DOI: 10.1080/15538362.2016.1250695.
3. Яшин А. Я., Веденин А. Н., Яшин Я. И., Немзер Б. В. Ягоды: химический состав, антиоксидантная активность. Влияние потребления ягод на здоровье человека // Аналитика. 2019. Т. 9. № 3. С. 222–230. DOI: 10.22184/2227-572X.2019.09.3.222.230.
4. Ürün I., Attar S.H., Sönmez D. A., Gündesli M. A., Ercisli S., Kafkas N. E., Bandic L. M., Duralija V. Comparison of polyphenol, sugar, organic acid, volatile compounds, and antioxidant capacity of commercially grown strawberry cultivars in Turkey // Plants. 2021. No. 10. Art. No. 1654. DOI: 10.3390/plants10081654.
5. Zhang Y., Yang M., Hou G., Zhang Y., Chen Q., Lin Y., Li M., Wang Y., He W., Wang X., Tang H., Luo Y. Effect of genotype and harvest date on fruit quality, bioactive compounds, and antioxidant capacity of strawberry // Horticulturae. 2022. Vol. 8(4). Art. No. 348. DOI: 10.3390/horticulturae8040348.
6. Miller K., Feucht W., Schmid M. Bioactive compounds of strawberry and blueberry and their potential health effects based on human intervention studies: a brief overview // Nutrients. 2019. Vol. 11(7). Art. No. 1510. DOI: 10.3390/nu11071510.
7. Николаева Л. А., Ненахова Е. В. Биологическая роль витаминов в организме. Методы оценки витаминной обеспеченности организма человека. Методы определения витамина С. Учебно-методическое пособие. Иркутск: ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава России, 2014. 71 с.
8. Тутельян В. А. Нутрициология и клиническая диетология: национальное руководство // Под ред. Тутельян В. А., Никитюк Д. Б. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 656 с.
9. Da Silva F. L., Escribano-Bailón M. T., Pérez Alonso J. J., Rivas Gonzalo J. C., Santos-Buelga C. Anthocyanin pigments in strawberry // LWT – Food Science and Technology. 2007. Vol. 40(2). P. 374–382. DOI: 10.1016/j.lwt.2005.09.018.
10. 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. Vol. 28(1). P. 9–19. DOI: 10.1016/j.nut.2011.08.009.
11. Dzhafezova T., Barba-Espín G., Müller R., Joernsgaard B., Hegelund J. N., Madsen B., Larsen D. H., Vega M. V. M., Toldam-Andersen T. Anthocyanin profile, antioxidant activity and total phenolic content of a strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) genetic resource collection // Food Bioscience. 2020. Vol. 36(1). Art. No. 100620. DOI: 10.1016/j.fbio.2020.100620.
12. Sirijan M., Pipattanawong N., Saeng-on B., Chairasart P. Anthocyanin content, bioactive compounds and physico-chemical characteristics of potential new strawberry cultivars rich in-anthocyanins // Journal of Berry Research. 2020. Vol. 10(3). P. 397–410. DOI: 10.3233/jbr190487.
13. Garzón G. A., Wrolstad R. E. Comparison of the stability of pelargonidin-based anthocyanins in strawberry juice and concentrate // Journal of Food Science. 2020. Vol. 67(4). P. 1288–1299. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb10277.x
14. Nowicka A., Kucharska A. Z., Sokół-Łętowska A., Fecka I. Comparison of polyphenol content and antioxidant capacity of strawberry fruit from 90 cultivars of *Fragaria* × *ananassa* Duch. // Food Chemistry. 2019. Vol. 270. P. 32–46. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.07.015.
15. Lee S., Cho J.-Y., Park K. D., Kim Y.-D., Yim S.-H. Assessment of validation and antioxidant activities of novel 12 Korean strawberry cultivars // Food Science and Technology (Campinas). 2022. Vol. 42(8). DOI: 10.1590/fst.76121.
16. Куликов И. М., Айтжанова С. Д., Андропова Н. В., Борисова А. А., Тумаева Т. А. Модель промышленного сорта земляники садовой для условий средней полосы России // Садоводство и виноградарство. 2020. № 3. С. 5–10. DOI: 10.31676/0235-2591-2020-3-5-10.

References

1. Akimov M. Yu., Luk'yanchuk I. V., Zhanova E. V., Lyzhin A. S. Strawberry fruit (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) as a valuable source of nutritional and biologically active substances (review) // Khimija Rastitel'nogo Syr'ja (Chemistry of plant raw material). 2020. No. 1. P. 5–18. DOI: 10.14258/jcprm.2020015511.
2. Mezzetti B., Balducci F., Capocasa F., Zong C.-F., Cappelletti R., Di Vittori L., Mazzoni L., Giampieri F., Battino M. Breeding strawberry for higher phytochemicals content and claim it: is it possible?

- // International Journal of Fruit Science. 2016. Vol. 16(1). P. 194–206. DOI: 10.1080/15538362.2016.1250695.
3. Yashin A. Ya., Vedenin A. N., Yashin Ya. I., Nemzer B. V. Berries: chemical composition, antioxidant activity, impact of consumption of berries on health of the person // *Analytics*. 2019. No. 9(3). P. 222–230. DOI: 10.22184/2227-572X.2019.09.3.222.230.
 4. Urün I., Attar S. H., Sönmez D. A., Gündesli M. A., Ercisli S., Kafkas N. E., Bandic L. M., Duralija B. Comparison of polyphenol, sugar, organic acid, volatile compounds, and antioxidant capacity of commercially grown strawberry cultivars in Turkey // *Plants*. 2021. No. 10. Art. No. 1654. DOI: 10.3390/plants10081654.
 5. Zhang Y., Yang M., Hou G., Zhang Y., Chen Q., Lin Y., Li M., Wang Y., He W., Wang X., Tang H., Luo Y. Effect of genotype and harvest date on fruit quality, bioactive compounds, and antioxidant capacity of strawberry // *Horticulturae*. 2022. Vol. 8(4). P. 348. DOI: 10.3390/horticulturae8040348.
 6. Miller K., Feucht W., Schmid M. Bioactive compounds of strawberry and blueberry and their potential health effects based on human intervention studies: a brief overview // *Nutrients*. 2019. Vol. 11(7). Art. No. 1510. DOI: 10.3390/nu11071510.
 7. Nikolayeva L. A., Nenakhova E. V. Biological role of vitamins in the body. Methods for assessing the vitamin supply of the human body. Methods for the determination of vitamin C. Educational and methodical manual. Irkutsk: Irkutsk State Medical University (ISMU) of the Ministry of Health of Russia, 2014. 71 p.
 8. Tutel'yan V. A. Nutrition and clinical dietetics: national guidelines // Ed. by Tutel'yan V. A., Nikityuk D. B. Moscow: GEOTAR-Media Publ., 2020. 656 p.
 9. Da Silva F. L., Escribano-Bailón M. T., Pérez Alonso J. J., Rivas Gonzalo J. C., Santos-Buelga C. Anthocyanin pigments in strawberry // *LWT – Food Science and Technology*. 2007. Vol. 40(2). P. 374–382. DOI: 10.1016/j.lwt.2005.09.018.
 10. 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. Vol. 28(1). P. 9–19. DOI: 10.1016/j.nut.2011.08.009.
 11. Dzhafezova T., Barba-Espín G., Müller R., Joernsgaard B., Hegelund J. N., Madsen B., Larsen D. H., Vega M. V. M., Toldam-Andersen T. Anthocyanin profile, antioxidant activity and total phenolic content of a strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) genetic resource collection // *Food Bioscience*. 2020. Vol. 36(1). Art. No. 100620. DOI: 10.1016/j.fbio.2020.100620.
 12. Sirijan M., Pipattanawong N., Saeng-on B., Chairprasart P. Anthocyanin content, bioactive compounds and physico-chemical characteristics of potential new strawberry cultivars rich in anthocyanins // *Journal of Berry Research*. 2020. Vol. 10(3). P. 397–410. DOI: 10.3233/jbr190487.
 13. Garzón G. A., Wrolstad R. E. Comparison of the stability of pelargonidin-based anthocyanins in strawberry juice and concentrate // *Journal of Food Science*. 2020. Vol. 67(4). P. 1288–1299. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb10277.x.
 14. Nowicka A., Kucharska A. Z., Sokół-Łętowska A., Fecka I. Comparison of polyphenol content and antioxidant capacity of strawberry fruit from 90 cultivars of *Fragaria × ananassa* Duch. // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 270. P. 32–46. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.07.015.
 15. Lee S., Cho J.-Y., Park K. D., Kim Y.-D., Yim S.-H. Assessment of validation and antioxidant activities of novel 12 Korean strawberry cultivars // *Food Science and Technology (Campinas)*. 2022. Vol. 42(8). DOI: 10.1590/fst.76121.
 16. Kulikov I. M., Aytzhanova S. D., Andronova N. V., Borisova A. A., Tumaeva T. A. A model of a commercial strawberry variety for the conditions of central Russia // *Horticulture and viticulture*. 2020. No. 3. P. 5–10. DOI: 10.31676/0235-2591-2020-3-5-10.

UDC 634.232:581.19

Zhbanova Ye. V., Luk'yanchuk I. V.

BIOCHEMICAL INDICES OF FRUIT QUALITY IN PROMISING STRAWBERRY VARIETIES AND SELECTED FORMS UNDER CONDITIONS OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

Summary. *Strawberry (Fragaria × ananassa Duch.) is one of the most popular and economically important berry crops widely cultivated in the world. In recent years, there has been a significant increase in interest in breeding strawberry varieties rich in beneficial phytochemicals. The aim of the current research was twofold: comprehensive assessment of chemical composition of fruits of promising strawberry varieties and selected forms under the Central Chernozem Region conditions; select sources for dietary (therapeutic and prophylactic) nutrition and technological processing. The research materials were 26*

strawberry samples: varieties and selected forms created at I.V. Michurin Federal Scientific Center (FSC) using the methods of introgressive and intervarietal hybridization, as well as foreign varieties. Chemical composition of fruits was studied in 2018–2022 at the instrumental and analytical facilities of the Laboratory of Biochemistry and Food Technologies using standard methods of analysis. The following parameters of fruit chemical composition were defined: soluble solids – 11.0 % Brix, total sugars – 7.9 %, organic acids – 0.84 %, ascorbic acid – 60.3 mg/100 g, anthocyanins – 59.3 mg/100 g. The highest sugar content (< 9.0 % according to long-term average data) was in strawberry varieties ‘Lastochka’, ‘Flora’ and in selected form 35-16 (922-67 × ‘Maryshka’). Optimal acidity was noted in all investigated strawberry samples. High sugar-acid index was registered in the varieties ‘Lastochka’ (15.2), ‘Yarkaya’ (11.6), ‘VimaZanta’ (12.2), as well as in selected forms 26-5 (‘Rubinovy kulon’ × 298-19-9-43 – 11.5) and 928-12 (298-19-9-43 × ‘Privlekatelnaya’ – 11.4). Selected form 56-7 (‘Gigantella Maxim’ × ‘Privlekatelnaya’) had high vitamin C content (90.8 mg/100 g according to long-term average data); maximum value of this trait – 110.4 mg/100g. In selected form 25-1 (‘Rubinovy kulon’ × ‘Maryshka’), we also registered high vitamin C content – 79.1 mg/100 g according to long-term average data; 84.9 mg/100 g maximum value of this trait. Varieties ‘Flora’ and ‘Privlekatelnaya’ were distinguished by darker colouring and higher anthocyanin accumulation (long term average data – 66.8 and 76.5 mg/100 g, respectively). According to long-term average data, accumulation of more than 100 mg/100 g of anthocyanins was observed in selected forms 21-14 (‘Urozhainaya’ CGL × ‘Rubinovy kulon’), 25-1 (‘Rubinovy kulon’ × ‘Maryshka’), 35-1 (922-67 × ‘Maryshka’). In the course of this research, we identified genotypes with high fruit quality parameters; they can be recommended for use in dietary nutrition, technological processing and freezing, as well as for further breeding work.

Keywords: *strawberry (Fragaria × ananassa Duch.), chemical composition, nutritional value, ascorbic acid, anthocyanins.*

Жбанова Екатерина Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии и пищевых технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина»; 393760, Россия, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Мичурина, 30; e-mail: shbanovak@yandex.ru.

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

Zhbanova Yekaterina Viktorovna, Dr. Sc. (Agr.), leading researcher of Laboratory of biochemistry and food technologies, I.V. Michurin Federal Scientific Center; 30, Michurina str., Michurinsk, Tambov Region, 367014, Russia; e-mail: shbanovak@yandex.ru.

Luk'yanchuk Irina Vasilyevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of Laboratory of private genetics and selection, I.V. Michurin Federal Scientific Center; 30, Michurina str., Michurinsk, Tambov Region, 367014, Russia; e-mail: irina.lk2011@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 28.02.2023.

Дата принятия к печати – 13.04.2023.

EDN FZGTKD

DOI 10.5281/zenodo.8271915

УДК 633.81:57.085.2

Егорова Н. А., Ставцева И. В., Тевфик А. Ш.

**КАЛЛУСО- И МОРФОГЕНЕЗ ЛАВАНДЫ УЗКОЛИСТНОЙ В КУЛЬТУРЕ
IN VITRO: ВЛИЯНИЕ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЭКСПЛАНТА**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Важнейшим этапом при разработке многих клеточных технологий является оптимизация процесса индукции морфогенеза из каллусных культур. Цель данной работы – изучение особенностей влияния происхождения экспланта на индукцию каллусо- и морфогенеза у лаванды узколистной *in vitro*. Экспериментальные работы проведены на базе лаборатории биотехнологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» в 2023 г. В исследованиях использовали лаванду (*Lavandula angustifolia* Mill.) сорта Степная. В асептическую культуру вводили экспланты (сегменты листьев) разного происхождения: из растений разного возраста, из разных ярусов побегов двух типов и из разных участков листовой пластинки. Листовые экспланты культивировали на питательных средах разного гормонального состава, на которых формировался каллус неморфогенного или морфогенного (с почками и зачатками листьев) типа. Установлено, что листья двух- и 12-летних растений (при использовании побегов первого года вегетации) не отличались по частоте индукции первичного неморфогенного или морфогенного каллуса. При культивировании сегментов листьев разных ярусов у молодых побегов первого года вегетации выявлено повышение частоты морфогенеза в культуре *in vitro* с увеличением яруса побега. Минимальная частота образования морфогенного каллуса (9,7 %) отмечена у листьев из нижних 2–5 ярусов (от основания побега). У листьев 6–9 и 10–14 ярусов количество эксплантов с морфогенным каллусом увеличилось до 2,8 и 5,9 раза соответственно. При использовании частично одревесневших побегов второго года вегетации частота морфогенных каллусов была ниже (до 1,3–3,2 раза) по сравнению с молодыми побегами первого года вегетации. При культивировании разных сегментов листовой пластинки максимальная частота морфогенного каллуса отмечена у эксплантов из основания и средней части листовой пластинки (9,5–26,1 %, в зависимости от питательной среды). В каллусе из эксплантов верхушки листа морфогенез наблюдали крайне редко. Полученные данные позволяют оптимизировать методику регенерации в каллусной культуре *L. angustifolia*.

Ключевые слова: лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia* Mill.), каллусогенез, морфогенез, *in vitro*, эксплант.

Для цитирования: Егорова Н. А., Ставцева И. В., Тевфик А. Ш. Каллусо- и морфогенез лаванды узколистной в культуре *in vitro*: влияние происхождения экспланта // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 39–51. EDN: FZGTKD. DOI 10.5281/zenodo.8271915.

For citation: Yegorova N. A., Stavtzeva I. V., Tefvik A. Sh. Calluso- and morphogenesis of *Lavandula angustifolia* *in vitro*: influence of explant origin // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 39–51. EDN: FZGTKD. DOI 10.5281/zenodo.8271915.

Введение

Основой большинства клеточных биотехнологий в растениеводстве является культивирование *in vitro* каллусных тканей. При этом в технологиях получения вторичных метаболитов достаточно часто используют недифференцированные каллусные или суспензионные культуры. Однако при создании новых генотипов

растений с хозяйственно ценными признаками (с применением соматической изменчивости, клеточной селекции и др.) или клональном микроразмножении *in vitro* необходимым и часто наиболее сложным этапом является индукция морфогенеза и последующая регенерация растений [1–3]. Процесс непрямого морфогенеза при культивировании каллусных тканей может реализовываться путем соматического эмбриогенеза *in vitro* (формирование биполярных зародышей в культуре клеток и тканей путем, напоминающим зиготический эмбриогенез) или органогенеза *de novo* различных типов (геммогенеза, ризогенеза, гемморизогенеза) [4–6]. От эффективности индукции органогенеза или соматического эмбриогенеза в каллусных культурах зависит не только возможность реализации биотехнологии, но и ее экономическая целесообразность.

Для многих видов растений экспериментально показано, что частота регенерации в каллусной культуре зависит от ряда эндогенных (в частности, генотипа донорного растения, типа и расположения экспланта на растении) и экзогенных (состава питательной среды, температуры и режима освещения при культивировании *in vitro*, длительности пассирования каллуса) факторов [7–9]. Большинство исследователей при оптимизации методик получения растений-регенерантов уделяют внимание, прежде всего, эмпирическому подбору состава индукционных питательных сред. Вместе с тем, во многих работах показана важная роль в индукции прямого или непрямого морфогенеза физиологического состояния экспланта, которое определяется типом экспланта и его расположением на растении, условиями выращивания, возрастом донорного растения и некоторыми другими особенностями [10–12]. Имеются сведения о том, что данные факторы могут влиять не только на частоту и тип морфогенеза, но и на длительность сохранения регенерационной способности каллуса [1, 13].

На важную роль возраста исходного донорного растения указывали многие авторы. В работе Basto et al. у *Cedrela montana* наибольший органогенный потенциал наблюдался при выделении почек из ювенильных молодых деревьев (7–18 мес.) по сравнению с деревьями возрастом 10–20 лет [14]. У *Brassica napus* прямой органогенез отмечали только из семядолей 3-5-дневных проростков, тогда как из эксплантов 7-дневных проростков побеги не формировались [9]. Для *Foeniculum vulgare* показано, что в каллусе, полученном из гипокотилей 7-дневных проростков частота соматического эмбриогенеза была в два раза выше, чем в каллусах из более зрелых 14 и 21-дневных проростков [15]. При изучении молекулярных механизмов реализации морфогенетического потенциала листьев разного возраста в культуре *in vitro* у табака (при прямой индукции морфогенеза) и арабидопсиса (при непрямом морфогенезе через стадию каллусообразования) выявлено, что регенерационная способность эксплантов обратно пропорциональна возрасту растения [16].

В ряде исследований установлено существенное влияние на морфогенетические процессы *in vitro* места расположения экспланта на растении или даже на поверхности питательной среды. Так, у *Saccharum officinarum* максимальная частота каллусообразования и органогенеза достигнута при культивировании первых двух базальных сегментов стебля, а из третьего–пятого сегментов регенерации не обнаружено [9]. Митрофанова И. В. установила, что у каладиума соматический эмбриогенез наблюдался преимущественно у основания листовой пластинки и области по обе стороны от центральной жилки, а у фикуса индукция соматических зародышей происходила по краю листовой пластинки, тогда как в зоне вдоль жилки и у черешка листа формировались почки и побеги [7]. У *Zamioculcas zamiifolia* экспланты с черешком или средней жилкой из базальной части листа показали самый высокий морфогенный ответ по сравнению с эксплантами без черешка или средней жилки или с эксплантами из апикальной части листа [17].

Лаванда узколистая (*Lavandula angustifolia* Mill.) – одно из наиболее ценных и широко распространенных во многих странах мира эфиромасличных растений,

широко используемое в парфюмерно-косметическом производстве, медицине, ландшафтном озеленении и других сферах деятельности [18]. Исследования в области клеточной инженерии лаванды посвящены главным образом различным аспектам клонального микроразмножения [19–22]. Вместе с тем не менее значимыми в теоретическом и прикладном плане направлениями являются биотехнологии создания новых генотипов на основе соматональной изменчивости или клеточной селекции, для которых необходимы высокоэффективные методики индукции морфогенеза *in vitro*. Однако публикации, посвященные получению растений-регенерантов в каллусной культуре лаванды, очень немногочисленны и большей частью направлены на оптимизацию состава питательных сред для индукции органогенеза или соматического эмбриогенеза [9, 23, 24]. Многие вопросы, касающиеся роли экзогенных и эндогенных факторов в процессах прямого и непрямого морфогенеза видов рода *Lavandula*, остаются почти неизученными. Поэтому **целью данного исследования** было изучение особенностей влияния происхождения экспланта на индукцию каллусо- и морфогенеза у лаванды узколистной *in vitro*.

Материалы и методы исследований

В исследованиях использовали лаванду узколистную (*L. angustifolia*) сорта Степная. В качестве эксплантов для индукции каллусогенеза выделяли сегменты листьев растений разного возраста (два года или 12 лет), выращенных в условиях закрытого грунта. В отдельных опытах использовали листовые экспланты, выделенные из разных ярусов побегов двух типов – молодых неодревесневших побегов первого года вегетации (длиной 18–22 см, с 12–15 ярусами) (рисунок 1А) и частично одревесневших побегов второго года вегетации с укороченными междоузлиями (длиной 30–35 см, с 35–40 ярусами) (рисунок 1Б), а также из разных участков листовой пластинки (рисунок 1В).

Экспериментальные работы проведены на базе лаборатории биотехнологии ФГБУН «Научно исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» в 2023 г. При этом применяли общепринятые методы культуры органов и тканей растений [25], а также методы, разработанные нами ранее для культивирования тканей и органов лаванды *in vitro* [9].

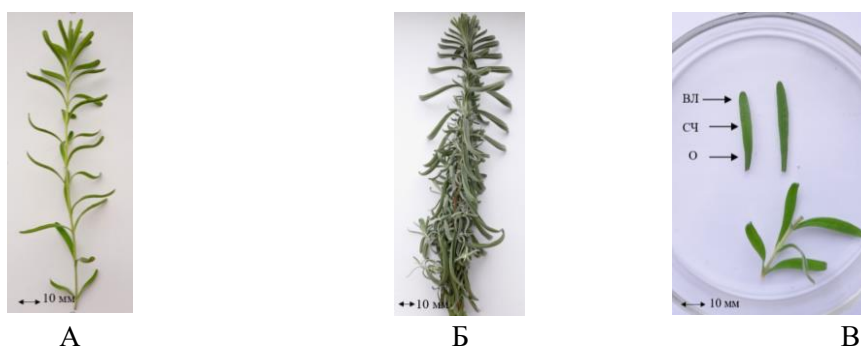


Рисунок 1 – Исходный растительный материал, используемый для введения эксплантов лаванды в культуру *in vitro*

Примечание. А – молодые неодревесневшие побеги первого года вегетации; Б – частично одревесневшие побеги второго года вегетации с укороченными междоузлиями; В – сегменты листовой пластинки, используемые для введения в культуру (О – основание листа; СЧ – средняя часть листа; ВЛ – верхушка листа).

При введении в изолированную культуру экспланты стерилизовали вначале в 70 % этаноле (40 сек), затем 12 мин в 50,0 % растворе препарата «Брадофен» 10Н (ФЛОРИН АО, Венгрия). После этого растительный материал трижды промывали

автоклавированной дистиллированной водой. Асептические работы проводили в ламинарном боксе БАВнп-01-«Ламинар-С»-1,2 (Россия).

Сегменты листьев (5–7 мм) культивировали на различных модификациях питательной среды Мурасиге и Скуга (МС) с добавлением α -нафтилуксусной кислоты (НУК), 6-бензиламинопурина (БАП), кинетина (Кин), тидиазурона (ТДЗ) (Sigma-Aldrich, США). Культивирование проводили в пробирках с 10 мл агаризованной питательной среды при 26 ± 2 °С, относительной влажности воздуха 70 %, освещенности 2000–3000 лк при 16-часовом фотопериоде.

В процессе культивирования проводили визуальный анализ развития эксплантов и каллусов. После четырех–шести недель культивирования определяли частоту каллусообразования – подсчитывали количество эксплантов с каллусом (в % от общего их числа). Частоту формирования морфогенного каллуса рассчитывали как количество эксплантов с каллусами с визуально видимыми почками или листьями в % от общего числа анализируемых эксплантов или в % от количества формирующихся каллусов. В некоторых опытах определяли интенсивность формирования первичного каллуса по трехбалльной системе, при этом за 1 балл принимали каллус массой 30–300 мг, 2 балла – 300–600 мг, 3 балла – 600–900 мг.

Статистическую обработку данных осуществляли согласно общепринятым методам математической статистики при помощи стандартного пакета документов Microsoft Office Excel (2010) [26]. Достоверность отличий оценивали по критерию Стьюдента при $p \leq 0,05$. В таблицах представлены средние значения и их стандартные ошибки, а на графике – средние значения и доверительные интервалы.

Результаты и их обсуждение

Важной проблемой при создании многих клеточных технологий является повышение частоты индукции морфогенеза, что может быть достигнуто благодаря вариации разных факторов культивирования и происхождения экспланта. Для уточнения роли возраста исходного донорного растения листовые экспланты выделяли из молодых побегов первого года вегетации двух- и 12-летних растений закрытого грунта (см. рисунок 1А, Б). Для культивирования использовали питательные среды МС разного гормонального состава, рекомендованные ранее как для индукции каллусогенеза (МС160), так и морфогенеза (МС427, МС428, МС554) у лаванды [9, 27]. Почти во всех вариантах опыта (за исключением среды МС428) наблюдали каллусогенез с частотой от 26,9 до 92,5 % (таблица 1). При этом интенсивность прироста первичного каллуса через четыре–шесть недель культивирования на среде МС160 была максимальной – до 2,3 балла (рисунок 2Б), тогда как на средах для морфогенеза формировался небольшой каллус (прирост составил всего 1,1–1,3 балла), а в некоторых случаях наблюдали лишь начальные этапы индукции каллусной ткани (рисунок 2А). Следует отметить, что по частоте и интенсивности формирования первичного каллуса достоверных различий между растениями разного возраста не отмечено.

Наибольший интерес в нашем исследовании представляет индукция процесса морфогенеза в каллусной ткани. Индукции прямого морфогенеза (непосредственно из тканей экспланта) в данном эксперименте не выявлено. Как видно из полученных данных, при культивировании сегментов листа в первичном каллусе только на средах МС427 и МС554 отмечен непрямой морфогенез и формирование морфогенного каллуса с частотой 21,3–42,2 % от числа эксплантов (таблица 1). Следует отметить, что большая часть первичных каллусов была морфогенной (до 81,9 %). В первичном морфогенном каллусе при визуальном анализе через месяц культивирования наблюдали формирование почек и зачатков листьев (рисунок 2В). При дальнейшем субкультивировании такого каллуса в нем развивались микропобеги.

Таблица 1 – Влияние возраста донорного растения лаванды сорта Степная на индукцию каллусо- и морфогенеза при введении в культуру *in vitro* эксплантов листа

| Возраст донорного растения | № питательной среды | Гормональные добавки в среде МС, мг/л | Частота каллусогенеза, % | Интенсивность формирования каллуса, балл | Частота эксплантов с морфогенным каллусом | |
|----------------------------|---------------------|---------------------------------------|--------------------------|--|---|----------------------------|
| | | | | | % от числа эксплантов | % от эксплантов с каллусом |
| Два года | МС160 | НУК-1,0 БАП-0,5 | 92,5 ± 8,4 | 2,2 | 0,0 | 0,0 |
| | МС428 | Кин-1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | МС427 | БАП-1,0 | 39,5 ± 3,8 | 1,3 | 28,7 ± 2,6 | 71,5 ± 6,7 |
| | МС554 | ТДЗ-1,0 | 56,7 ± 5,1 | 1,2 | 38,2 ± 3,1 | 69,5 ± 7,0 |
| 12 лет | МС160 | НУК-1,0 БАП-0,5 | 91,5 ± 8,9 | 2,3 | 0,0 | 0,0 |
| | МС428 | Кин-1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | МС427 | БАП-1,0 | 26,9 ± 3,0 | 1,2 | 21,3 ± 2,5 | 81,9 ± 8,0 |
| | МС554 | ТДЗ-1,0 | 55,3 ± 4,9 | 1,1 | 42,2 ± 4,0 | 77,5 ± 7,9 |

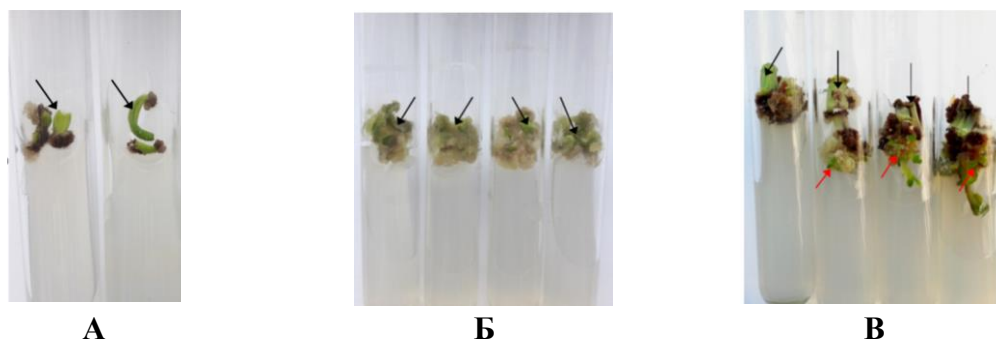


Рисунок 2 – Индукция каллусогенеза у лаванды сорта Степная при введении в культуру *in vitro* листовых эксплантов (четыре недели культивирования)

Примечания: А – неморфогенный каллус на среде МС427; Б – неморфогенный каллус на среде МС160; В – морфогенный каллус на среде МС554. Черными стрелками обозначен исходный листовой эксплант, красными – почки и листья в морфогенном каллусе.

Сравнительный анализ развития эксплантов листьев из растений разного возраста не показал различий частоты формирования морфогенного каллуса на всех испытанных вариантах питательной среды МС. На средах МС160 и МС428 у двух- и 12-летних растений из эксплантов морфогенный каллус не развивался, а на средах МС427 и МС554 его частота достоверно не отличалась. Полученные в нашем исследовании данные отличаются от представленных для ряда видов (чаще древесных растений) фактов, свидетельствующих о преимуществе использования более молодых растений для индукции каллусо- или морфогенеза *in vitro* [13, 14]. Данное расхождение, по-видимому, связано с особенностями развития растений лаванды, представляющих собой многолетний полукустарник, у которого ежегодно из почек у основания куста (особенно после обрезки для омоложения) формируются молодые однолетние побеги [18]. Возможно, и отличий между растениями двух- и 12-ти лет мы не выявили, так как для введения в асептическую культуру выделяли листья именно из таких, почти не различающихся по физиологическому статусу молодых

отрастающих побегов. Это свидетельствует о возможности использования для биотехнологических исследований растений лаванды разного возраста (при условии отбора одинаковых молодых однолетних побегов), что очень удобно в практическом плане при необходимости получения большого числа эксплантов.

Следует отметить также, что в исследованиях мы использовали для культивирования эксплантов лаванды питательные среды разного гормонального состава и на всех испытанных средах были получены одинаковые результаты, свидетельствующие об отсутствии различий у растений разного возраста. Вместе с тем для *Hippophae rhamnoides* получены данные о влиянии состава среды на морфогенетические потенции разновозрастных листовых эксплантов. В частности, на среде с ТДЗ частота регенерации был выше у ювенильных листьев, а на среде с введением ТДЗ и БАП, наоборот, выше у листьев большего возраста [28].

Важным фактором является не только тип или возраст экспланта, но и место его локализации на растении. В следующем эксперименте были использованы сегменты листьев, расположенные на разных ярусах побегов двух типов (см. рисунок 1, таблицу 2). При этом их культивировали на средах МС разного гормонального состава. Основное внимание в данном опыте было уделено анализу индукции морфогенного каллуса. При сравнении листьев из разных ярусов побега у молодых неодревесневших побегов первого года вегетации выявлено, что на частоту образования неморфогенного каллуса расположение листа почти не влияло. Однако анализ индукции морфогенного каллуса свидетельствует о повышении морфогенетического потенциала по мере увеличения яруса побега. Наименьшая частота образования морфогенного каллуса (9,7 %) отмечена у листьев, выделенных из нижних двух–пяти ярусов (от основания побега), тогда как максимальная частота индукции морфогенного каллуса выявлена при использовании листьев верхних 10–14 ярусов побега. Так, на наиболее эффективных средах МС594 и МС554 частота эксплантов с морфогенным каллусом из 10–14 ярусов (соответственно, 57,5 и 32,3 %) была достоверно выше, чем из шестого–девятого ярусов (соответственно 27,7 и 5,7 %). Следует отметить, что из листьев нижнего яруса морфогенный каллус формировался только на одной питательной среде МС594, тогда как из следующих 6–14-го ярусов на всех испытанных морфогенных средах (МС427, МС554, МС594) отмечено формирование с разной частотой первичных каллусов с почками или листьями.

При использовании частично одревесневших побегов второго года вегетации показана возможность получения из листовых эксплантов морфогенных каллусов, однако частота их образования не превышала 22,5 % и на большинстве испытанных сред была ниже по сравнению с молодыми побегами первого года вегетации (см. таблицу 2). Сравнительный анализ культивирования листьев из разных ярусов побега также показал тенденцию повышения частоты формирования морфогенного каллуса из листьев от нижних (10–20) ярусов побега к верхушке побега (35–40 ярус).

Полученные результаты свидетельствуют о большей эффективности использования для индукции морфогенного каллуса у лаванды молодых неодревесневших побегов первого года вегетации, а также листьев, выделенных из верхних или средних ярусов побега. Вместе с тем, при необходимости получения большего числа эксплантов, для индукции морфогенных каллусов можно культивировать листья и из частично одревесневших побегов второго года вегетации, однако использовать только верхние 35–40 ярусы побега. Выявленные у лаванды особенности, по-видимому, обусловлены большим морфогенетическим потенциалом у онтогенетически более молодых листьев из однолетних побегов и верхних ярусов, что может быть связано с разным уровнем эндогенных фитогормонов в их тканях.

Таблица 2 – Влияние типа побега и расположения листа на побеге на индукцию каллусо- и морфогенеза у лаванды сорта Степная при введении в культуру *in vitro*

| Тип побега | Ярус побега | № питательной среды | Гормональные добавки в среде МС, мг/л | Частота образования каллуса, % от числа эксплантов | |
|---|-------------|---------------------|---------------------------------------|--|-------------|
| | | | | неморфогенных | морфогенных |
| Молодые неодревесневшие побеги первого года вегетации | 2–5 | 160 | НУК1,0+ БАП 0,5 | 100,0 ± 0,0 | 0,0 |
| | | 427 | БАП 1,0 | 28,9 ± 2,2 | 0,0 |
| | | 554 | ТДЗ 1,0 | 37,5 ± 3,1 | 0,0 |
| | | 594 | ТДЗ 0,5+БАП 0,5 | 76,2 ± 6,9 | 9,7 ± 1,0 |
| | 6–9 | 160 | НУК1,0 + БАП 0,5 | 100,0 ± 0,0 | 0,0 |
| | | 427 | БАП 1,0 | 38,5 ± 4,0 | 7,9 ± 0,7 |
| | | 554 | ТДЗ 1,0 | 28,9 ± 3,0 | 5,7 ± 0,5 |
| | | 594 | ТДЗ 0,5+БАП 0,5 | 32,5 ± 3,1 | 27,7 ± 3,0 |
| | 10–14 | 160 | НУК1,0+ БАП 0,5 | 100,0 ± 0,0 | 0 ± 0,0 |
| | | 427 | БАП 1,0 | 44,7 ± 3,8 | 9,4 ± 1,0 |
| | | 554 | ТДЗ 1,0 | 27,1 ± 2,2 | 32,3 ± 2,6 |
| | | 594 | ТДЗ 0,5+БАП 0,5 | 32,5 ± 2,9 | 57,5 ± 5,7 |
| Частично одревесневшие побеги второго года вегетации | 10–20 | 160 | НУК1,0+ БАП 0,5 | 97,3 ± 8,9 | 0 ± 0,0 |
| | | 427 | БАП 1,0 | 67,5 ± 6,0 | 0 ± 0,0 |
| | | 554 | ТДЗ 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| | | 594 | ТДЗ 0,5+БАП 0,5 | 45,0 ± 3,8 | 8,9 ± 1,0 |
| | 20–30 | 160 | НУК1,0+ БАП 0,5 | 100,0 ± 0,0 | 0,0 |
| | | 427 | БАП 1,0 | 50,0 ± 4,8 | 7,5 ± 0,8 |
| | | 554 | ТДЗ 1,0 | 12,3 ± 1,0 | 8,7 ± 0,4 |
| | | 594 | ТДЗ 0,5+БАП 0,5 | 59,2 ± 5,7 | 15,5 ± 1,1 |
| | 35–40 | 160 | НУК1,0+ БАП 0,5 | 100,0 ± 0,0 | 0,0 |
| | | 427 | БАП 1,0 | 56,3 ± 6,0 | 9,3 ± 1,0 |
| | | 554 | ТДЗ 1,0 | 21,3 ± 2,0 | 22,5 ± 1,8 |
| | | 594 | ТДЗ 0,5+БАП 0,5 | 57,9 ± 5,5 | 17,9 ± 2,0 |

Достаточно важным методическим вопросом является анализ влияния места локализации сегмента листовой пластинки на процессы каллусо- и морфогенеза *in vitro*, так как от этого может зависеть не только повторяемость опытов, но и эффективность полученных результатов. В данном эксперименте в качестве эксплантов использовали сегменты одинакового размера, выделенные из разных частей листовой пластинки лаванды – базальной части у основания листа, средней части и верхушки листа (см. рисунок 1В). Эти экспланты культивировали на питательной среде МС с разными регуляторами роста. Данные о частоте формирующегося первичного каллуса неморфогенного и морфогенного типов представлены на рисунке 3. Установлено, что индукция неморфогенного каллуса почти не зависела от локализации экспланта, особенно на каллусогенной среде МС160. А при культивировании на других средах хотя и были незначительные различия, однако каллус этого типа чаще был небольшим (до 30–50 мг) и недостаточно пригодным для дальнейшего пассирования.

Что касается индукции морфогенного каллуса, то в этом случае четко видны различия при культивировании разных участков листовой пластинки. Из сегментов верхней части листа морфогенный каллус сформировался только на одной из испытанных сред МС554 с очень низкой частотой – 4,3 %. В то же время при помещении на питательные среды МС427, МС554, МС594 сегментов из основания или средней части листа у 9,5–26,1 % эксплантов (в зависимости от питательной среды) развивался морфогенный каллус. При этом на среде МС594 частота морфогенеза была достоверно выше у эксплантов из основания листовой пластинки

по сравнению со средней частью, а на остальных средах наблюдали тенденцию повышения этого параметра. Выявленные различия морфогенетического потенциала различных участков листа могут быть обусловлены как разной морфологией, анатомией или митотической активностью составляющих их тканей, так и разным градиентом эндогенных фитогормонов, однако эти предположения требуют более детального дальнейшего исследования.

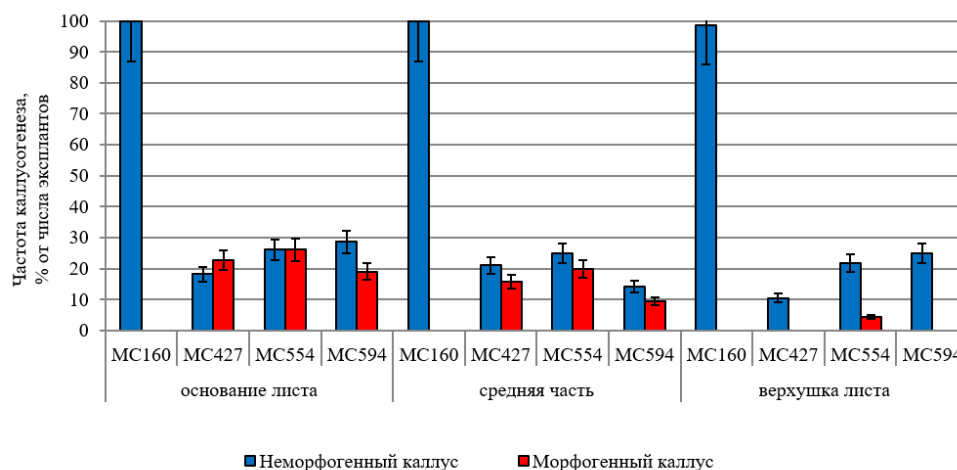


Рисунок 3 – Влияние расположения экспланта на листовой пластинке на индукцию неморфогенного и морфогенного каллуса у лаванды сорта Степная при введении в культуру *in vitro*

Примечание. Состав питательных сред – см. таблицы 1,2.

Литературные данные о влиянии расположения эксплантов на растении на процессы морфогенеза *in vitro* достаточно разнообразны. Так, при исследовании микроразмножения бегонии, так же, как и в нашей работе, было установлено, что морфогенетический потенциал базальной части листовой пластинки выше, чем у средней части или верхушки листа [29]. При исследовании прямого морфогенеза из листьев зизифуса *in vitro* отмечена повышенная частота регенерации у эксплантов из средней части стебля, а также показано, что частота побегообразования из базальной части листа составила 69,37 %, а из апикальной части – всего 9,63 % [10]. В работе Chai et al. у *Zoysia matrella* выявлено, что частота каллусообразования от первого до шестого узла побега варьировала от 22,5 до 92,1 %, а частота индукции соматического эмбриогенеза – от 13,3 до 25,7% [30]. Вместе с тем у *Saccharum officinarum* наибольшее число регенерировавших растений было получено из первых двух базальных сегментов стебля [31]. При изучении регенерации из разных фрагментов побегов картофеля *in vitro* показано, что экспланты из средней части побега растения раньше восстанавливали утраченный побег, а из апикальной части – активнее формировали корни [12]. Представленные публикации и ряд других работ в значительной степени соответствуют выявленным нами закономерностям морфогенеза *in vitro* у лаванды, хотя имеются и отличия, по-видимому, обусловленные видовыми особенностями или методическими подходами. Тем не менее, полученные экспериментальные данные свидетельствуют о сложной зависимости между физиологическим состоянием экспланта (определяемым возрастом и локализацией на растении) и его регенерационным потенциалом. Эти взаимодействия, конечно, требуют более углубленных теоретических исследований,

однако уже установленные факты позволяют оптимизировать методические приемы повышения морфогенетической способности у лаванды. В частности, это касается выбора возраста донорного растения, типа и яруса побега, а также сегмента листовой пластинки. Сочетание этих факторов с ранее разработанными нами методиками индукции каллусо- и морфогенеза способствуют усовершенствованию биотехнологий, основанных на регенерации растений из каллусных культур *L. angustifolia*.

Выводы

В ходе исследований установлена специфика влияния происхождения экспланта на индукцию процессов каллусо- и морфогенеза *in vitro* у *L. angustifolia*. При культивировании на питательных средах разного гормонального состава сегментов листьев, выделенных из растений разного возраста, разных ярусов побегов двух типов, а также из различных участков листовой пластинки, формировался неморфогенный или морфогенный (с почками и зачатками листьев) каллус. Анализ развития эксплантов листьев из 2-х и 12-ти летних растений (при использовании одинаковых молодых однолетних побегов) не показал различий частоты формирования первичного неморфогенного или морфогенного каллуса. При сравнении листьев из разных ярусов у молодых побегов первого года вегетации выявлено повышение морфогенетического потенциала в культуре *in vitro* по мере увеличения яруса побега. Наименьшая частота образования морфогенного каллуса (9,7 %) отмечена у листьев, выделенных из нижних двух–пяти ярусов (от основания побега). У сегментов листьев, выделенных из 6–9-го и 10–14-го ярусов, количество эксплантов с морфогенным каллусом достигало 27,7 и 57,5 % соответственно. При использовании частично одревесневших побегов второго года вегетации показана возможность получения из листовых эксплантов морфогенных каллусов, однако частота их образования не превысила 22,5 % и на большинстве испытанных сред была ниже по сравнению с молодыми побегами первого года вегетации. У более зрелых побегов также показана тенденция повышения частоты индукции непрямого морфогенеза в каллусных культурах из листьев от нижних ярусов к верхушке побега. При культивировании разных участков листовой пластинки максимальная частота индукции морфогенного каллуса отмечена у эксплантов из основания и средней части листовой пластинки (9,5–26,1 %, в зависимости от состава питательной среды), а из сегментов верхушки листа морфогенный каллус развивался крайне редко. Таким образом, для повышения частоты индукции непрямого морфогенеза в первичном каллусе лаванды необходимо использовать экспланты из верхних ярусов молодых побегов (первого года вегетации) и выделять сегменты из основания или средней части листовой пластинки. Вместе с тем, при необходимости получения большего числа эксплантов, можно использовать растения лаванды разного возраста, а также более зрелые одревесневшие побеги, хотя в этом случае необходимо учитывать снижение частоты морфогенеза. Полученные данные позволяют оптимизировать методику регенерации в каллусной культуре *L. angustifolia*.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда № 23-24-00023.

Литература

1. Feher A. Callus, dedifferentiation, totipotency, somatic embryogenesis: what these terms mean in the era of molecular plant biology? // Front. Plant Sci. 2019. Vol. 10. P. 536. DOI: 10.3389/fpls.2019.00536.
2. Efferth T. Biotechnology applications of plant callus cultures // Engineering. 2019. Vol. 5 (1). P. 50–59. DOI: 10.1016/j.eng.2018.11.006.
3. Калашникова Е. А. Клеточная инженерия растений. М.: Юрайт, 2020. 333 с.
4. Kruglova N. N., Titova G. E., Seldimirova O. A. Callusogenesis as an *in vitro* morphogenesis pathway in cereals // Russ. J. Dev. Biol. 2018. Vol. 49(5). P. 245–259. DOI: 10.1134/S106236041805003X.

5. Ikeuchi M., Favero D.S., Sakamoto Y., Iwase A., Coleman D., Rymen B., Sugimoto K. Molecular mechanisms of plant regeneration // *Ann. Rev. Plant Biol.* 2019. Vol. 70. P. 377–406. DOI: 10.1146/annurev-arplant-050718-100434.
6. Shin J., Bae S., Seo P. J. De novo shoot organogenesis during plant regeneration // *J. Exp. Bot.* 2020. Vol. 71(1). P. 63–72. DOI: 10.1093/jxb/erz395.
7. Митрофанова И. В. Соматический эмбриогенез и органогенез как основа биотехнологии получения и сохранения многолетних садовых культур. К: Аграрна наука, 2011. 344 с.
8. Twaij B. M., Jazar Z. H., Hasan M. N. Trends in the use of tissue culture, applications and future aspects // *Int. J. Plant Biol.* 2020. Vol. 11 (1). Art. No. 8385. DOI: 10.4081/pb.2020.8385.
9. 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.
10. Jian-Can Feng, Yu X. M., Shang X. L., Li J. D., Wu Y. X. Factors influencing efficiency of shoot regeneration in *Ziziphus jujuba* Mill. 'Huizao' // *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 2010. Vol. 101. P. 111–117. DOI: 10.1007/s11240-009-9663-2.
11. Bidabadi S. S., Jain S. M. Cellular, molecular, and physiological aspects of *in vitro* plant regeneration // *Plants.* 2020. Vol. 9 (6). Art. No. 702. DOI: 10.3390/plants9060702.
12. Кадырбаев М. К., Головацкая И. Ф., Сатканов М. Ж. Особенности морфогенеза и метаболизма регенерантов *in vitro*, полученных из разных фрагментов побега картофеля // Вестник Томского государственного университета. Серия «Биология». 2021. № 55. С. 114–134. DOI: 10.17223/19988591/55/7.
13. Кунах В. А. Біотехнологія лікарських рослин. Генетичні та фізіолого-біохімічні основи. К.: Логос, 2005. 730 с.
14. Basto S., Serrano C., Hodson de Jaramillo E. Effects of donor plant age and explants on *in vitro* culture of *Cedrela montana* Moritz ex Turcz // *Univ. Sci.* 2012. Vol. 17 (3). P. 263–271. DOI: 10.11144/javeriana.SC17-3.eodp.
15. Тевфик А. Ш., Егорова Н. А. Особенности индукции каллусо- и морфогенеза фенхеля обыкновенного в зависимости от возраста проростков // Бюллетень ГНБС. 2019. Т. 133. С. 101–108. DOI: 10.36305/0513-1634-2019-133-101-108.
16. Zhang T.-Q., Lian H., Tang H., Dolezal K., Zhou C.-M., Yu S., Chen J.-H., Chen Q., Liu H., Ljung K., Wanga J.-W. An intrinsic microRNA timer regulates progressive decline in shoot regenerative capacity in plants // *The Plant Cell.* 2015. Vol. 27. P. 349–360. DOI: 10.1105/tpc.114.135186.
17. Papafotiou M., Martini A. N. Effect of position and orientation of leaflet explants with respect to plant growth regulators on micropropagation of *Zamioculcas zamiifolia* Engl. (ZZ) // *Sc. Hort.* 2009. Vol. 120 (1). P. 115–120. DOI: 10.1016/j.scienta.2008.09.023.
18. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В., Мишнев А. В., Назаренко Л. Г. Эфиромасличная отрасль Крыма. Вчера, сегодня, завтра. Симферополь: ИТ «Ариал», 2018. 320 с.
19. Митрофанова И. В., Митрофанова О. В., Иванова Н. Н., Егорова Н. А., Кузьмина Т. Н., Лесникова-Седошенко Н. П., Тевфик А. Ш., Челомбит С. В. Этапы регенерации *in vitro* декоративных, ароматических и плодовых культур // В книге: Основы создания генобанка *in vitro* видов, сортов и форм декоративных, ароматических и плодовых культур. Симферополь: ООО «ИТ Ариал», 2018. С. 27–126. DOI: 10.32514/978-5-907118-87-4.
20. Mokhtarzadeh S., Demirci B., Ağalar H. G., Khawar K. M., Kirimer N. *In vitro* propagation and volatile compound characterization of *Lavandula stoechas* L. subsp. *stoechas* an economically important source of essential oil // *Rec. Nat. Prod.* 2019. Vol. 13 (2). P. 121–128. DOI: 10.25135/rnp.86.18.04.105.
21. Yegorova N. A., Mitrofanova I. V., Brailko V. A., Grebennikova O. A., Paliy A. E., Stavtseva I. V. Morphogenetic, physiological, and biochemical features of *Lavandula angustifolia* at long-term micropropagation *in vitro* // *Russian Journal of Plant Physiology.* 2019. Vol. 66 (2). P. 326–334. DOI: 10.1134/S1021443719010060.
22. Koefender J., Manfio C. E., Camera J. N., Schoffel A., Golle D. P. Micropropagation of lavender: a protocol for production of plantlets // *Hortic. Bras.* 2021. Vol. 39 (4). P. 404–410. DOI: 10.1590/s0102-0536-20210409.
23. Sabzevar T. S., Ghavidel R. A., Foroghian S. The effect of phytohormones on lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) organogenesis // *J. of Pharmacy and Pharmacology.* 2015. Vol. 3. P. 338–344. DOI: 10.17265/2328-2150/2015.07.004.
24. Leelavathi D., Raajasubramanian D., Ramu L., Haseena R., Midhila P., Govinda R. M. V., Lavanya G., Chetan H. C., Narendra K. *Lavandula angustifolia* L. plants regeneration from *in vitro* leaf explants-derived callus as conservation strategy // *Biotechnologia Vegetal.* 2020. Vol. 20 (2). P. 75–82.
25. Калинин Ф. Л., Сарнацкая В. В., Полищук В. Е. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений. К.: Наукова думка. 1980. 488 с.

26. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
27. Yegorova N., Kruglova N., Galin I., Stavtzeva I. Induction of morphogenesis in the callus culture of *Lavandula angustifolia* Mill. // BIO Web Conf. 2020. Vol. 24. Art. No. 00098. DOI: 10.1051/bioconf/20202400098.
28. Sriskandarajah S., Lundquist P.-O. High frequency shoot organogenesis and somatic embryogenesis in juvenile and adult tissues of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) // Plant Cell Tiss Organ Cult. 2009. Vol. 99. P. 259–268. DOI: 10.1007/s11240-009-9597-8.
29. Носырева М. В., Вечернина Н. А., Таварткиладзе О. К. Регенерация и размножение растений бегонии *in vitro* // Известия Алтайского государственного университета. 2004. № 3 (33). С. 94–97.
30. Chai M., Jia Y., Chen S., Gao Z., Wang H., Liu L., Wang P., Hou D. Callus induction, plant regeneration, and long-term maintenance of embryogenic cultures in *Zoysia matrella* [L.] Merr // Plant Cell Tiss Organ Cult. 2011. Vol. 104. P. 187–192. DOI: 10.1007/s11240-010-9817-2.
31. Tiel K., Enriquez G.A., Ceballo Y. Soto N., Fuentes A.D., Ferreira A., Coll Y., Pujol M. Development of a system for rapid plant regeneration from *in vitro* sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) meristematic tissue // Biotecnologia Aplicada. 2006. Vol. 23 (1). P. 22–24.

References

1. Feher A. Callus, dedifferentiation, totipotency, somatic embryogenesis: what these terms mean in the era of molecular plant biology? // Front. Plant Sci. 2019. Vol. 10. P. 536. DOI: 10.3389/fpls.2019.00536.
2. Efferth T. Biotechnology applications of plant callus cultures // Engineering. 2019. Vol. 5 (1). P. 50–59. DOI: 10.1016/j.eng.2018.11.006.
3. Kalashnikova E. A. Cell engineering of plants. Moscow: “Yurayt”, 2020. 333 p.
4. Kruglova N. N., Titova G. E., Seldimirova O. A. Callusogenesis as an *in vitro* morphogenesis pathway in cereals // Russ. J. Dev. Biol. 2018. Vol. 49(5). P. 245–259. DOI: 10.1134/S106236041805003X.
5. Ikeuchi M., Favero D. S., Sakamoto Y., Iwase A., Coleman D., Rymen B., Sugimoto K. Molecular mechanisms of plant regeneration // Ann. Rev. Plant Biol. 2019. Vol. 70. P. 377–406. DOI: 10.1146/annurev-arplant-050718-100434.
6. Shin J., Bae S., Seo P.J. De novo shoot organogenesis during plant regeneration // J. Exp. Bot. 2020. Vol. 71(1). P. 63–72. DOI: 10.1093/jxb/erz395.
7. Mitrofanova I. V. Somatic embryogenesis and organogenesis as the basis of biotechnology for obtaining and conservation of perennial garden crops. Kyiv: Agrarna nauka, 2011. 344 p.
8. Twajj B. M., Jazar Z. H., Hasan M. N. Trends in the use of tissue culture, applications and future aspects // Int. J. Plant Biol. 2020. Vol.11 (1). Art. No. 8385. DOI: 10.4081/pb.2020.8385.
9. 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.
10. Jian-Can Feng, Yu X. M., Shang X.L., Li J. D., Wu Y. X. Factors influencing efficiency of shoot regeneration in *Ziziphus jujuba* Mill. ‘Huizao’ // Plant Cell Tiss Organ Cult. 2010. Vol. 101. P. 111–117. DOI: 10.1007/s11240-009-9663-2.
11. Bidabadi S. S., Jain S. M. Cellular, molecular, and physiological aspects of *in vitro* plant regeneration // Plants. 2020. Vol. 9 (6). Art. No. 702. DOI: 10.3390/plants9060702.
12. Kadyrbaev M. K., Golovatskaya I. F., Satkanov M. Zh. Features of regenerants morphogenesis and metabolism *in vitro*, obtained from different fragments of potato shoots // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology. 2021. Vol. 55. P 114–134. DOI: 10.17223/19988591/55/7.
13. Kunakh V. A. Biotechnology of medicinal plants. Genetic and physiological and biochemical bases. Kyiv: Logos, 2005. 730 p.
14. Basto S., Serrano C., Hodson de Jaramillo E. Effects of donor plant age and explants on *in vitro* culture of *Cedrela montana* Moritz ex Turcz // Univ. Sci. 2012. Vol. 17 (3). P. 263–271. DOI: 10.11144/javeriana.SC17-3.eodp.
15. Tevfik A. Sh., Yegorova N. A. Peculiarities of induction of callusogenesis and morphogenesis in fennel depending on the age of seedlings // Bull. of the State Nikita Botan. Gard. 2019. Vol. 133. P. 101–108. DOI: 10.36305/0513-1634-2019-133-101-108.
16. Zhang T.-Q., Lian H., Tang H., Dolezal K., Zhou C.-M., Yu S., Chen J.-H., Chen Q., Liu H., Ljung K., Wanga J.-W. An intrinsic microRNA timer regulates progressive decline in shoot regenerative capacity in plants // The Plant Cell. 2015. Vol. 27. P. 349–360. DOI: 10.1105/tpc.114.135186.
17. Papafotiou M., Martini A. N. Effect of position and orientation of leaflet explants with respect to plant growth regulators on micropropagation of *Zamioculcas zamiifolia* Engl. (ZZ) // Sc. Hort. 2009. Vol. 120 (1). P. 115–120. DOI:10.1016/j.scienta.2008.09.023.

18. Pashtetskii V. S., Nevkrytaya N. V., Mishnev A. V., Nazarenko L. G. Essential oil industry in the Crimea. Yesterday, today, tomorrow. Simferopol: Arial, 2018. 320 p.
19. Mitrofanova I. V., Mitrofanova O. V., Ivanova N. N., Yegorova N. A., Kuzmina T. N., Lesnikova-Sedoshenko N. P., Tefvik A. Sh., Chelombit S. V. Stages of *in vitro* regeneration of decorative, aromatic and fruit crops // In book: Fundamentals of the creation of an *in vitro* genebank of species, varieties and forms of decorative, aromatic and fruit crops. Simferopol: Arial, 2018. P. 27–126. DOI: 10.32514/978-5-907118-87-4.
20. Mokhtarzadeh S., Demirci B., Ağalar H.G., Khawar K.M., Kirimer N. *In vitro* propagation and volatile compound characterization of *Lavandula stoechas* L. subsp. *stoechas* – an economically important source of essential oil // Rec. Nat. Prod. 2019. Vol. 13 (2). P. 121–128. DOI: 10.25135/rnp.86.18.04.105.
21. Yegorova N. A., Mitrofanova I. V., Brailko V. A., Grebennikova O. A., Paliy A. E., Stavtseva I. V. Morphogenetic, physiological, and biochemical features of *Lavandula angustifolia* at long-term micropropagation *in vitro* // Russian Journal of Plant Physiology. 2019. Vol. 66 (2). P. 326–334. DOI: 10.1134/S1021443719010060.
22. Koefender J., Manfio C. E., Camera J. N., Schoffel A., Golle D. P. Micropropagation of lavender: a protocol for production of plantlets // Hortic. Bras. 2021. Vol.39 (4). P. 404–410. DOI:10.1590/s0102-0536-20210409.
23. Sabzevar T. S., Ghavidel R. A., Foroghian S. The effect of phytohormones on lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) organogenesis // J. of Pharmacy and Pharmacology. 2015. Vol. 3. P. 338–344. DOI:10.17265/2328-2150/2015.07.004.
24. Leelavathi D., Raajasubramanian D., Ramu L., Haseena R., Midhila P., Govinda R.M.V., Lavanya G., Chetan H.C., Narendra K. *Lavandula angustifolia* L. plants regeneration from *in vitro* leaf explants-derived callus as conservation strategy // Biotecnología Vegetal. 2020. Vol. 20 (2). P. 75–82.
25. Kalinin F. L., Sarnatskaya V.V., Polishchuk V.E. Methods of tissue culture in plant physiology and biochemistry. Kiev: Naukova dumka, 1980. 488 p.
26. Lakin G. F. Biometrics. Moscow: Vysshaya shkola, 1990. 352 p.
27. Yegorova N., Kruglova N., Galin I., Stavtzeva I. Induction of morphogenesis in the callus culture of *Lavandula angustifolia* Mill. // BIO Web Conf. 2020. Vol. 24. Art. No. 00098. DOI: 10.1051/bioconf/20202400098.
28. Sriskandarajah S., Lundquist P.-O. High frequency shoot organogenesis and somatic embryogenesis in juvenile and adult tissues of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) // Plant Cell Tiss Organ Cult. 2009. Vol. 99. P. 259–268. DOI: 10.1007/s11240-009-9597-8.
29. Nosyreva M. V., Vechernina N. A., Tavartkiladze O. K. *In vitro* regeneration and propagation of begonia plants // Izvestiya of Altai State University. 2004. Vol. 3(33). P. 94–97.
30. Chai M., Jia Y., Chen S., Gao Z., Wang H., Liu L., Wang P., Hou D. Callus induction, plant regeneration, and long-term maintenance of embryogenic cultures in *Zoysia matrella* [L.] Merr // Plant Cell Tiss Organ Cult. 2011. Vol. 104. P. 187–192. DOI: 10.1007/s11240-010-9817-2.
31. Tiel K., Enriquez G.A., Ceballo Y. Soto N., Fuentes A.D., Ferreira A., Coll Y., Pujol M. Development of a system for rapid plant regeneration from *in vitro* sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) meristematic tissue // Biotecnologia Aplicada. 2006. Vol. 23 (1). P. 22–24.

UDC 633.81:57.085.2

Yegorova N. A., Stavtzeva I. V., Tefvik A. Sh.

CALLUSO- AND MORPHOGENESIS OF LAVANDULA ANGUSTIFOLIA IN VITRO: INFLUENCE OF EXPLANT ORIGIN

Summary. *The most important stage in the development of many cell technologies is the optimization of the process of morphogenesis induction from callus cultures. The purpose of this work was to study the influence of the explant origin on the callus and morphogenesis induction in narrow-leaved lavender in vitro. Experiments were carried out in 2023 at the Laboratory of Biotechnology – structural unit of the Research Institute of Agriculture of Crimea. Lavender (Lavandula angustifolia Mill.) cv. Stepnaya was used in the studies. Explants (leaf segments) of different origin: from plants of different ages, from different tiers of shoots (two types of shoots were used), and from different parts of the leaf blade were introduced into aseptic culture. Leaf explants were cultivated on nutrient media of different hormonal composition, on which callus of either non-morphogenic or morphogenic (with buds and leaf rudiments) type was formed. It was established that leaves*

from two- and 12-year-old plants (when using shoots of the first year of vegetation) did not differ in the frequency of induction of primary non-morphogenic or morphogenic callus. When cultivating leaf segments of different tiers isolated from young shoots of the first year of vegetation, an increase of the morphogenesis frequency *in vitro* with an increase in the shoot tier was revealed. The minimum frequency of morphogenic callus formation (9.7 %) was noted in leaves from the lower 2–5 tiers (from the base of the shoot). In leaves of 6–9 and 10–14 tiers, the number of explants with morphogenic callus increased up to 2.8 and 5.9 times, respectively. When using partially lignified shoots of the second year of vegetation, the frequency of morphogenic calluses was lower (up to 1.3–3.2 times) compared with young shoots of the first year of vegetation. When cultivating different segments of the leaf blade, the maximum frequency of morphogenic callus was noted in explants from the base and middle part of the leaf blade (9.5–26.1 %, depending on the medium). In the callus from leaf tip explants, morphogenesis was observed very rarely. The obtained data make it possible to optimize the method of regeneration in the *L. angustifolia* callus culture.

Keywords: *Lavandula angustifolia* Mill., callusogenesis, morphogenesis, *in vitro*, explant.

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, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ira563583@mail.ru

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.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. (Biol.), senior researcher, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150 Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: ira563583@mail.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.ru.

Дата поступления в редакцию – 04.05.2023.

Дата принятия к печати – 13.06.2023.

EDN HVTTAJ

DOI 10.5281/zenodo.8271945

УДК 635.262(089):581.19

Елисеева Н. А., Костанчук Ю. Н.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ЧЕСНОКА ОЗИМОГО В УСЛОВИЯХ КРЫМА

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Чеснок (*Allium sativum* L.) благодаря своим питательным и лечебным свойствам является чрезвычайно ценной овощной культурой, поэтому улучшение уже существующих и создание новых высокопродуктивных генотипов с повышенным содержанием полезных для здоровья человека веществ, обладающих хорошей лёжкостью и пригодных для переработки, является актуальным направлением селекционной работы. Целью наших исследований была сравнительная оценка коллекционных образцов чеснока по основным хозяйственно ценным признакам для выделения лучших в почвенно-климатических условиях Крыма. Опыты проводили в отделе селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (с. Укромное, Симферопольский район) в 2021–2022 гг. согласно существующей методике селекции луковых культур. Изучено 14 образцов коллекционного питомника чеснока озимого, проведено сравнение с контролем – местным сортом Любаша. Почва участка представлена южным карбонатным тяжелосуглинистым чернозёмом, механический состав глинистый, структура комковатая. Метеоусловия за годы исследований по температурному режиму существенно не отличались между собой, превышали средние многолетние данные на 1,2–3,8 °С. По хозяйственно ценным признакам – товарная урожайность луковиц, их диаметр и средняя масса, лучшими оказались четыре образца – Белый рыночный, Майский местный, Поднебесный и Стрелец, которые превосходили контроль на 14,7–29,0 %. По комплексу ценных биохимических свойств луковиц чеснока можно выделить пять образцов – Черноморский, Софиевский, Салгир, Майский местный, Поднебесный с содержанием сухих веществ 38,0–38,7 % и долей эфирных масел – 0,41–0,35 мг/100 г сырой массы. Лучшие выделенные образцы будут включены в дальнейшую селекционную работу для создания конкурентоспособных сортов чеснока для условий Крыма.

Ключевые слова: чеснок озимый (*Allium sativum* L.), сорт, селекция, признаки, урожайность, коллекция, отбор, исходный материал.

Для цитирования: Елисеева Н. А., Костанчук Ю. Н. Сравнительная характеристика коллекционных образцов чеснока озимого в условиях Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 52–60. EDN: HVTTAJ. DOI 10.5281/zenodo.8271945.

For citation: Eliseeva N. A., Kostanchuk Yu. N. Comparative characteristics of collection samples of winter garlic in the Crimea // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 52–60. EDN: HVTTAJ. DOI 10.5281/zenodo.8271945.

Введение

Чеснок (*Allium sativum* L.) по биохимическому составу луковиц является чрезвычайно ценной овощной культурой. Наличие биологически активных веществ позволяет широко использовать его в народном хозяйстве [1–4].

В луковицах чеснока содержится 35–42 % сухих веществ, 6,0–7,9 % сырого белка, 7–25 мг/100 г аскорбиновой кислоты, 0,5 % редуцирующих сахаров, 20–27 % полисахаридов, 53,3–78,9 % сахаров, 5,16 % жира, витамины В₁, РР, В₂. В золе

имеется более 17 химических элементов в виде солей фосфора, кальция, меди, йода, титана, серы [1, 2, 4, 5]. Особо важное значение имеют: йод – 0,94 мг/кг, железо, которого в чесноке столько же, сколько и в яблоках – 10–20 мг/100 г, а также селен и германий. В чесноке имеются ценные для человека аминокислоты, особенно лизин [2]. Фитонциды, содержащиеся в эфирном масле чеснока, подавляют развитие микроорганизмов [1, 2]. Наличие сульфидов обуславливает остроту вкуса и своеобразия запаха. Наличие широкого спектра биологически активных веществ обуславливает его фармакологические свойства [4–6].

Несмотря на достаточное количество имеющихся сортов в реестре РФ, не все они подходят для использования в специфических условиях Крыма. В Крыму используют в основном среднепоздние крупнозубковые сорта, а вот популяция раннеспелой группы встречается реже. К тому же, вкусовые свойства у ранних сортов значительно лучше, они более ароматны, способны образовывать луковицу на 25–30 суток раньше среднепоздних форм, что особенно ценно в нашем регионе при выращивании чеснока в защищённом грунте. В открытом грунте не все сорта, созданные в средней полосе РФ, способны стрелковаться, и в тёплые зимы образуют непригодную к использованию однозубковую луковицу. Поэтому возникает необходимость изучения исходного материала и на его основе создания нового с нужными свойствами. Изучение коллекционного материала чеснока озимого по основным хозяйственным признакам с целью подбора исходных форм для селекции на высокую продуктивность, качество продукции и полезные свойства, устойчивость к вредителям и болезням имеет большую практическую ценность, так как позволит создавать новые сорта для условий региона [1, 2, 8].

Цель исследований – сравнительная оценка коллекционных образцов чеснока по основным хозяйственно ценным признакам для выделения лучших в почвенно-климатических условиях Крыма.

Материалы и методы исследований

Опыты по сравнительной оценке коллекционных образцов чеснока озимого проводили в отделе селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур ФГБУН «НИИСХ Крыма» (с. Укромное, Симферопольского района) в 2021–2022 гг. Объектом изучения были 14 сортовых образцов различного происхождения – из регионов Крыма и Московской области РФ. В качестве контроля использовали наиболее распространённый местный сорт озимого стрелкующегося чеснока Любаша. Исследования проводили согласно методическим указаниям по селекции луковых культур [9]. Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2010 [10].

Высадку зубков осуществляли в период с 17 по 22 ноября в течении двух лет. Количество учётных растений – 10 в трёхкратной повторности. Схема посадки ленточная трёхрядная: (60+25+25):10 см, орошение капельное. В ходе проведения опыта были определены морфометрические показатели (высота растения и ложного стебля, длина цветоноса, количество листьев и их размеры), а также основные количественные признаки (урожайность, средняя масса луковицы, зубка, количество зубков в луковице). Проведены биохимические анализы:

- определение массовой доли сухого вещества по ГОСТ 28561-90 (метод высушивания);
- определение общих сахаров (колориметрический метод определения сахаров в %) [11];
- определение аскорбиновой кислоты титрованием краской Тильманса, количество аскорбиновой кислоты мг в 100 г;
- определение массовой доли эфирного масла экстракционно-хроматографическим методом.

Почва на опытном участке представлена южным карбонатным тяжелосуглинистым чернозёмом. По гранулометрическому составу она является тяжёлым слабо-структурным суглинком, с содержанием гумуса (по Тюрину) в пахотном слое 4,3 %.

Территория опытного участка относится к нижнему Предгорному агроклиматическому району Крыма. Климат района умеренно континентальный, характеризующийся неустойчивым увлажнением. Средние годовые температуры воздуха 9–12 °С. Для данного района обычным является жаркое лето при средних температурах июля 23–24 °С и максимальных – 35–39 °С. Средняя температура самого холодного месяца февраля от –2 до –10 °С. Для района характерна резкая континентальность, продолжительный вегетационный период и засухи. Годовое количество осадков в среднем составляет 325–450 мм. Снежный покров неустойчив, его продолжительность достигает 30–38 дней. Промерзание почвы в холодные зимы доходит до 1,5 м, а в тёплые – 0,2–0,4 м [12].

Периоду перезимовки посевов чеснока в 2021 г. соответствовали умеренные среднесуточные температуры, которые находились на уровне значений среднемноголетних данных. Низкие отрицательные температуры (ниже –5 °С) наблюдали в период с 16.01 по 20.01; с 13.02 по 20.02; 24.03, что отрицательно отразилось на состоянии всходов чеснока, особенно ранней группы сортов. За период с января по конец марта выпало 131,8 мм осадков, при норме 214,5 мм, что увеличило период появления всходов. Температурный режим апреля характеризовался средним уровнем многолетних данных. Максимальные значения дневных температур в третьей декаде этого месяца достигали 29,9 °С, количество выпавших осадков составило 34,3 мм при норме 34,0 мм. Май был тёплым и влажным: среднесуточные температуры изменялись в пределах от 13,8 до 17,7 °С, что выше нормы в среднем на 1,2 °С. Основное количество осадков выпало в период формирования вегетативной массы растений чеснока и превысило средние значения на 98,8 %. Летние месяцы были достаточно влажными и умеренно жаркими: в июне максимальные значения дневных температур не поднимались выше 30 °С, при нормальном количестве влаги, что позволило растениям чеснока сформировать хорошие луковицы; за период двух летних месяцев выпало 104 % от нормы.

Период вегетации 2022 г. по температурному режиму незначительно отличался от предшествующего года. Умеренные положительные среднесуточные температуры перезимовки чеснока сопровождалось достаточным количеством выпадающих осадков, что способствовало успешному укоренению зубков. За ноябрь и декабрь 2021 г. выпало 145,0 мм, что больше уровня предыдущего года на 26,7 %. Низкие отрицательные температуры (ниже –5 °С) наблюдали с третьей декады декабря по конец марта, что существенно отразилось на состоянии маточников чеснока, особенно раннеспелой группы сортов. Отрицательные температуры воздуха до –10,2 °С наблюдали в середине января и во второй декаде марта, что привело к повреждению листьев чеснока в ранневесенний период. С января до конца марта выпало на 12,3 % осадков меньше уровня прошлого года. Но уже в апреле этот недостаток влаги был восполнен в количестве 65,6 мм, что в 1,9 раза больше нормы. Весна 2022 г. была умеренно тёплой и достаточно влажной. Среднесуточные температуры воздуха в марте варьировали от –2,6 до +6,0 °С, при минимуме –10,1 °С, уровень осадков в этот период составил 28,3 мм, что способствовало медленному развитию растений чеснока. В апреле максимальная температура воздуха по декадам варьировала в пределах 18,9–26,6 °С, при минимальных значениях от –1,6 до +3,7 °С. Среднесуточные температуры первых двух декад были ниже многолетних на 1,4 и 0,9 °С, а в третьей соответствовали их значениям. Количество осадков превышало

многолетние значения на 10,8 мм. Среднесуточные температуры летнего периода 2022 г. характеризовались умеренными значениями, которые находились на уровне среднемноголетних. Максимальная температура воздуха в июне поднималась до отметки в 31,7 °С (при среднесуточных значениях от 19,5 до 21,6 °С), превышая в среднем норму на 1,9 °С, а наличие осадков в 140,6 мм превышало норму на 107 %. Минимальные ночные температуры воздуха в этом месяце находились в пределах 12,3–14,1 °С, такие условия способствовали формированию хорошего урожая.

Результаты и их обсуждение

Рост и развитие растений чеснока озимого находится в зависимости от погодных условий, в которых их выращивают, а именно от уровня положительных температур и количества влаги в верхнем слое почвы в период укоренения высаженных зубков [1, 8]. Появление всходов отмечено с 15–20 января до 25 февраля. Начало отрастания растений чеснока наблюдали с 07 по 22 апреля в зависимости от сорта. У образцов Карадаг и Майский местный начало формирования луковок отмечено с 10 по 18 мая, у остальных – с 21 по 31 мая (у контроля – с 24 по 28 мая). Начало образования цветоносов наблюдали с 21 по 28 мая. Уборочная спелость наступала в зависимости от группы спелости образца с 01 июня по 05–14 июля.

Серединым Т. М. с соавторами установлено, что морфометрические признаки (высота растений, количество листьев, ширина листовой пластинки, высота ложного стебля и другие) прямо взаимосвязаны с урожайностью луковок и их размером [2]. Оценка образцов чеснока озимого по высоте растений в среднем за два года показала, что местный сорт Белый рыночный превышал контроль – местный сорт Любаша на 45 см или 60 %. Также выделялись по данному признаку сорта Юбилейный Грибовский и Людмила, превысившие контроль на 51 и 36 % соответственно. Как правило, высота ложного стебля составляла 31–52 % от общей длины растений в зависимости от сорта.

По средней урожайности товарных луковок в сравнении с контролем выделились шесть образцов. Достоверно превысили контроль по данному признаку три сорта: Майский местный, Белый рыночный и Стрелец – на 21, 15 и 14 % соответственно. На уровне контроля были пять образцов с урожайностью от 1,57 до 1,78 кг/м² (таблица 1).

Таблица 1 – Хозяйственно ценные признаки образцов чеснока озимого в коллекционном питомнике в среднем за 2021–2022 гг.

| Сорт, популяция | Урожайность товарных луковок, кг/м ² | Диаметр луковок, см | Средняя масса луковок, г | Средняя масса зубка, г | Количество зубков в луковке, шт. |
|-----------------------|---|---------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Любаша (St.) | 1,70 | 5,4 | 45 | 7,1 | 6,3 |
| Черноморский | 1,03 | 4,1 | 30 | 3,7 | 8,7 |
| Софиевский | 1,49 | 4,7 | 37 | 3,3 | 11,2 |
| Салгир | 1,78 | 5,1 | 48 | 8,4 | 5,9 |
| Белый рыночный | 1,95 | 5,5 | 56 | 8,6 | 6,8 |
| Карадаг | 1,74 | 6,0 | 57 | 5,7 | 10,1 |
| Майский местный | 2,06 | 5,6 | 58 | 5,9 | 8,9 |
| Одинцовский юбилейный | 1,60 | 5,5 | 50 | 5,1 | 9,5 |
| Юбилейный Грибовский | 1,28 | 4,8 | 33 | 5,4 | 6,2 |
| Поднебесный | 1,75 | 5,1 | 54 | 5,9 | 10,2 |
| Людмила | 1,40 | 4,2 | 32 | 7,2 | 4,4 |
| Демидов | 1,32 | 4,4 | 48 | 4,5 | 11,2 |
| Стрелец | 1,94 | 5,6 | 52 | 8,1 | 6,2 |
| Сармат | 1,57 | 5,4 | 47 | 4,4 | 10,8 |
| НСР ₀₅ | 0,21 | 0,58 | 10,5 | 1,0 | 1,6 |

По величине диаметра луковицы в среднем отмечены преимущества перед контролем на 0,2–0,6 см у сортов Карадаг, Майский местный, Стрелец.

По средней массе товарной луковицы выделили Майский местный, Карадаг, Белый рыночный, Поднебесный и Стрелец, их превышение по данному признаку в сравнении с контролем составило 20–29 %. Наиболее крупные и выровненные по массе и диаметру в среднем за два года были луковицы сорта Карадаг. Зубки массой больше 7,0 г имели Любаша (контроль), Салгир, Белый рыночный, Стрелец, Людмила. По наименьшему (в среднем от 4,4 до 6,8 штук) числу зубков в луковице (являющегося положительным признаком) отмечены пять образцов: Людмила, Салгир, Стрелец, Юбилейный Грибовский, Белый рыночный.

Выявление характера и степени корреляционной взаимосвязи между отдельными признаками является важным этапом селекционной работы, т.к. позволяет на разных стадиях развития растений предугадывать значения сопряженных признаков и на этой основе проводить отбор исходного материала [8, 13]. Корреляции могут меняться в процессе онтогенеза, а также по годам изучения даже у одних и тех же сортов. Всё зависит от генетических особенностей и возможностей образца проявлять устойчивость к воздействию внешних факторов, а также сохранять характер проявления фенотипических признаков сорта [2, 13]. Наблюдения за взаимодействием основных фенотипических признаков у растений чеснока показали их различную степень взаимосвязи. В нашей работе были установлены корреляционные взаимодействия между урожайностью луковиц, средней массой одной луковицы и морфометрическими признаками изучаемых образцов (таблица 2). Тесная положительная корреляционная взаимосвязь отмечена между признаками (урожайность, средняя масса луковицы, её диаметр и высота ложного стебля) по всем изучаемым образцам. Коэффициент корреляции между урожайностью и массой луковицы составил от 0,80 до 0,96, между урожайностью и диаметром луковицы – 0,70–0,99 в зависимости от сорта (таблица 2).

Результаты оценки изучаемых образцов показали, что не всегда корреляция может быть тесной и положительной. Такие признаки, как урожайность и средняя масса луковицы находятся в отрицательной слабой взаимосвязи с количеством зубков в луковице, так как последний признак является характерным для каждого отдельного генотипа. Отрицательное взаимодействие средней степени установлено между урожайностью, средней массой луковицы и длиной стрелки растений чеснока озимого в среднем в пределах от –0,34 до –0,59 в зависимости от образца. Наибольшие значения коэффициента корреляции (r) соответствовали местным образцам Салгир и Белый рыночный. В общем по питомнику данная взаимосвязь имела отрицательные средние значения от –0,456 до –0,513. Наиболее тесная положительная корреляционная взаимосвязь ($r = 0,96$) между товарной урожайностью и средней массой луковицы выявлена у образцов Белый рыночный и Одинцовский. Такую же закономерность наблюдали у данных сортов между товарной урожайностью луковиц и средней массой одного зубка, диаметром луковицы, высотой растения и ложного стебля, в меньшей степени – между урожайностью и количеством, длиной и шириной листьев.

В среднем за два года изучения наибольшими значениями содержания сухих веществ в луковицах чеснока озимого (от 38,0 до 38,7 %) отличились три образца: Черноморский, Софиевский и Салгир (таблица 3). Средний уровень содержания сухих веществ (36,4–36,8 %) отмечен у сортов: Любаша, Сармат, Демидов, Поднебесный, ниже среднего (от 32,6 до 35,3 %) имели Стрелец, Юбилейный Грибовский и Белый рыночный.

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции товарной урожайности и средней массы луковицы с морфологическими признаками чеснока озимого в коллекционном питомнике (среднее за 2021–2022 гг.)

| Признак, сорт | Средняя масса луковицы, г | Масса зубка, г | Количество зубков в луковице, шт. | Диаметр луковицы, см | Высота растения, см | Высота ложного стебля, см | Длина стрелки, см | Количество листьев, шт. | Длина листа, см | Ширина листа, см |
|---|---------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------|
| Товарная урожайность луковиц, кг/м ² | | | | | | | | | | |
| Салгир | 0,80 | 0,68 | –0,08 | 0,87 | 0,80 | 0,93* | –0,59 | 0,65 | 0,89 | 0,80 |
| Белый рыночный | 0,96* | 0,92 | –0,07 | 0,94 | 0,86 | 0,88 | –0,57 | 0,72 | 0,78 | 0,78 |
| Майский местный | 0,92 | 0,54 | –0,06 | 0,88 | 0,68 | 0,93* | –0,45 | 0,51 | 0,42 | 0,47 |
| Одинцовский | 0,96* | 0,94 | –0,08 | 0,99* | 0,82 | 0,71 | –0,47 | 0,61 | 0,84 | 0,81 |
| Поднебесный | 0,92 | 0,83 | –0,07 | 0,70 | 0,80 | 0,92 | –0,54 | 0,57 | 0,94* | 0,79 |
| Стрелец | 0,91 | 0,87 | –0,06 | 0,98* | 0,74 | 0,82 | –0,46 | 0,50 | 0,88 | 0,78 |
| Средняя масса луковицы, г | | | | | | | | | | |
| Салгир | - | 0,84 | –0,09 | 0,72 | 0,65 | 0,71 | –0,45 | 0,84 | 0,76 | 0,57 |
| Белый рыночный | - | 0,78 | –0,09 | 0,75 | 0,75 | 0,94* | –0,59 | 0,83 | 0,79 | 0,54 |
| Майский местный | - | 0,88 | –0,06 | 0,52 | 0,65 | 0,92 | –0,54 | 0,81 | 0,36 | 0,44 |
| Одинцовский | - | 0,86 | –0,06 | 0,77 | 0,88 | 0,91 | –0,41 | 0,82 | 0,72 | 0,41 |
| Поднебесный | - | 0,75 | –0,09 | 0,65 | 0,82 | 0,85 | –0,37 | 0,74 | 0,74 | 0,46 |
| Стрелец | - | 0,79 | –0,07 | 0,79 | 0,71 | 0,98* | –0,34 | 0,73 | 0,71 | 0,39 |

Примечание. * достоверно на уровне значимости $p \leq 0,05$.

Таблица 3 – Биохимический состав луковиц чеснока озимого в коллекционном питомнике в среднем за 2021–2022 гг.

| Название сорта, популяции | Содержание | | | Массовая доля эфирных масел, мг/100г |
|---------------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------------------------------|
| | сухих веществ, % | общих сахаров, % | витамина С, мг/100г | |
| Любаша - контроль | 36,4 | 20,5 | 8,5 | 0,24 |
| Черноморский | 38,0 | 22,5 | 11,6 | 0,35 |
| Софиевский | 38,1 | 19,3 | 10,7 | 0,22 |
| Салгир | 38,7 | 20,3 | 9,7 | 0,28 |
| Белый рыночный | 35,3 | 18,0 | 8,2 | 0,25 |
| Карадаг | 30,2 | 20,3 | 8,1 | 0,28 |
| Майский местный | 30,0 | 24,1 | 9,6 | 0,41 |
| Юбилейный Грибовский | 35,7 | 26,4 | 10,1 | 0,31 |
| Поднебесный | 36,8 | 26,5 | 9,2 | 0,39 |
| Демидов | 36,7 | 27,2 | 8,4 | 0,28 |
| Стрелец | 32,6 | 23,5 | 6,1 | 0,26 |
| Сармат | 36,4 | 27,1 | 8,3 | 0,20 |
| НСР ₀₅ | 1,5 | 4,5 | 0,9 | 0,11 |

Более высокие значения содержания общих сахаров (26,5–27,2 %) отмечены у образцов Поднебесный, Юбилейный Грибовский, Сармат и Демидов. Наибольшие

значения содержания эфирных масел соответствовали двум сортам – Поднебесный и Майский местный. В состав луковиц чеснока входит от 7 до 25 мг/100г сырой массы витамина С [2]. В нашем опыте наибольшее количество аскорбиновой кислоты накапливали сорта Черноморский, Софиевский и Юбилейный Грибовский. Отклонение от среднего показателя по данному признаку в питомнике у них составило от 1,1 до 2,6 мг/100 г сырой массы.

Выводы

По комплексу количественных хозяйственно ценных признаков за два года изучения можно выделить четыре сортовых образца – Белый рыночный, Майский местный, Поднебесный и Стрелец, которые отмечены более высокими значениями урожайности и средней массы товарных луковиц по сравнению с контролем (14,7–29,0 %). Данные образцы можно использовать для селекции на продуктивность.

Высоким содержанием сухих веществ в зубках отличились три образца: Черноморский, Софиевский и Салгир, которые превысили контроль на 4,4–8,3 %. Максимальные значения массовой доли эфирных масел в товарных луковицах соответствовали трём образцам: Майский местный, Поднебесный и Черноморский – 0,41–0,35 мг/100г сырой массы, что соответственно на 70,8; 62,3; 49,8 % больше контроля.

По комплексу ценных биохимических свойств луковиц чеснока в среднем за два года, выделено пять образцов: Черноморский, Софиевский, Салгир, Майский местный, Поднебесный, которые будут использованы как перспективный материал для селекции на полезные свойства луковиц.

Литература

1. Герасимова Л. И., Агафонов А. Ф., Середин Т. М. Оценка коллекционного питомника чеснока озимого по хозяйственно ценным признакам // Овощи России. 2018. № 5. С. 33–35. DOI: 10.18619/2072-9146-2018-5-33-35.
2. Середин Т. М., Агафонов А. Ф., Герасимова Л. И., Солдатенко А. В., Кривенков Л. В. Селекция чеснока озимого на качество продукции. Омск: Издательский центр КАН, 2020. 115 с.
3. Corso-Martinez M., Corso N., Villamiel M. Biological properties of onions and garlic// Trends in Food Science & Technology. 2007. Vol. 18. No. 12. P. 609–625. DOI: 10.1016/j.tifs.2007.07.011.
4. Block E., Birringer M., Jiang W., Nakahodo T., Thompson H. J., Toscano P. J., Uzar H., Zhang X., Zhu Z. Allium chemistry: synthesis, natural occurrence, biological activity and chemistry of S-alk(en)ylselenocysteines and their gamma-glutamyl derivatives and oxidation products // J. Agric. Food Chem. 2001. Vol. 49. P. 458–470. DOI: 10.1021/jf001097b.
5. Otunola G. A., Oloyede O. B., Oladiji A. T., Afolayan A. J. Comparative analysis of the chemical composition of three spices – *Allium sativum* L., *Zingiber officinale* Rosc. and *Capsicum frutescens* L. commonly consumed in Nigeria // Afr. J. Biotechnol. 2010. No. 9(41). P. 6927–6931. DOI: 10.5897/AJB10.183.
6. Ulianych O. I., Yatsenko V.V., Slobodyanyk G.Ya., Soroka L.V., Didenko I.A. Comparative estimation of productivity of local forms of Elephant garlic // Ukrainian Journal of Ecology. 2019. No. 9(2). P. 212–216.
7. Голубкина Н. А., Пименова В. В., Кошелева О. В., Агафонов А. Ф., Хрыкина Ю. А. Некоторые биохимические показатели *Allium sativum* L. // Гавриш. 2008. № 1. С. 37–39.
8. Скорина В. В., Кохтенкова И. Г. Сравнительная оценка коллекционных сортообразцов чеснока озимого по урожайности // Овощи России. 2021. № 3. С. 60–67. DOI: 10.18619/2072-9146-2021-3-60-67.
9. Методические указания по селекции луковых культур // Под ред. Ершова И. И., Агафонова А. Ф. М.: ВНИИССОК, 1997. 122 с.
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
11. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. Методы биохимического исследования растений Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1987. 430 с.
12. Багров Н. В. Экология Крыма. Справочное пособие // Под ред. Н.В. Багрова и В.А. Бокова. Симферополь: Крымучпедгиз, 2003. С.40–52.

13. Кохтенкова И. Г., Скорина В. В. Корреляционная зависимость между фенотипическими признаками у коллекционных сортообразцов чеснока озимого // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2. С.113–116.

14. Скорина В. В., Середин Т. М. Сравнительная оценка сортов чеснока озимого по основным биохимическим показателям // Земледелие и защита растений. 2019. № 3. С. 56–59.

References

1. Gerasimova L. I., Agafonov A. F., Seredin T. M. Assessment of collection nursery of winter garlic on economically valuable signs // Vegetable crops of Russia. 2018. No. 5. P. 33–35. DOI: 10.18619/2072-9146-2018-5-33-35.

2. Seredin T. M., Agafonov A. F., Gerasimova L. I., Soldatenko A. V., Krivenkov L. V. Winter garlic breeding for product quality. Omsk: Publishing Center KAN, 2020. 115 p.

3. Corso-Martinez M., Corso N., Villamiel M. Biological properties of onions and garlic // Trends in Food Science & Technology. 2007. Vol. 18. No. 12. P. 609–625. DOI: [10.1016/j.tifs.2007.07.011](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.07.011).

4. Block E., Birringer M., Jiang W., Nakahodo T., Thompson H. J., Toscano P. J., Uzar H., Zhang X., Zhu Z. Allium chemistry: synthesis, natural occurrence, biological activity and chemistry of S-alk(en)ylselenocysteines and their gamma-glutamyl derivatives and oxidation products // J. Agric. Food Chem. 2001. Vol. 49. P. 458–470. DOI: 10.1021/jf001097b.

5. Otunola G. A., Oloyede O. B., Oladiji A. T., Afolayan A. J. Comparative analysis of the chemical composition of three spices – *Allium sativum* L., *Zingiber officinale* Rosc. and *Capsicum frutescens* L. commonly consumed in Nigeria // Afr. J. Biotechnol. 2010. No. 9(41). P. 6927–6931. DOI: 10.5897/AJB10.183.

6. Ulianych O. I., Yatsenko V.V., Slobodyanyk G.Ya., Soroka L.V., Didenko I.A. Comparative estimation of productivity of local forms of Elephant garlic // Ukrainian Journal of Ecology. 2019. No. 9(2). P. 212–216.

7. Golubkina N. A., Pimenova V. V., Kosheleva O. V., Agafonov A. F., Khrykina Yu. A. Biochemical characteristics of *Allium sativum* L. // Gavrish. 2008. No. 1. P. 37–39.

8. Skorina V. V., Kokhtenkova I. G. Comparative evaluation of collection varieties of winter garlic by yield // Vegetable crops of Russia. 2021. No.3. P. 60–67. DOI: 10.18619/2072-9146-2021-3-60-67.

9. Methodological guidelines for the onion crops breeding // Ed. by Ershova I. I., Agafonova A. F., Moscow: VNISSOK, 1997. 122 p.

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. Ermakov A. I., Arasimovich V. V., Yarosh N. P. Methods of biochemical research of plants Leningrad: Agropromizdat. Leningrad branch, 1987. 430 p.

12. Bagrov N. V. Ecology of the Crimea. Reference manual // Ed. by Bagrov N. V., Bokov V. A. Simferopol: Krymchpedgiz, 2003. P. 40–52.

13. Kokhtenkova I. G., Skorina V. V. Correlation dependence between phenotypic traits in collection variety samples of winter garlic // Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy. 2021. No. 2. P. 113–116.

14. Skorina V. V., Seredin T.M. Comparative assessment of winter garlic varieties by main biochemical parameters // Crop Farming and Plant Protection. 2019. No. 3. P. 56–59.

UDC: 635.262(089):581.19

Eliseeva N. A., Kostanchuk Yu. N.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF COLLECTION SAMPLES OF WINTER GARLIC IN THE CRIMEA

Summary. Garlic (*Allium sativum* L.), thanks to its nutritional and medicinal properties, is an extremely valuable vegetable crop. Therefore, improvement of existing varieties and creation of new highly productive genotypes with increased content of substances useful for humans, those with good shelf life and suitable for processing is an urgent direction of breeding work. The purpose of our research was a comparative evaluation of collection samples of garlic by the main economically valuable characteristics in order to select the best ones under soil and climatic conditions of the Crimea. All the studies were carried out at the experimental fields of the Department of Plant Breeding and Seed Production of Vegetables and Melons – structural unit of the Research Institute of

Agriculture of Crimea (Ukromnoye village, Simferopol district) in 2021-2022. All surveys and observations were carried out according to the Methodological Guidelines for the Onion Crops Breeding. We studied fourteen samples of winter garlic from the collection nursery and compared them with the local variety 'Lyubasha' (control). Soil of the experimental plot – chernozem southern calcareous heavy loamy; its texture is clayey, structure – lumpy. Weather conditions (temperature regime) during the years of research did not differ significantly; average daily temperatures exceeded average long-term data by 1.2–3.8 °C. In terms of economically valuable traits (marketable bulb yield, their diameter and average weight), the best varieties were 'Belyi rynochnyi', 'Mayskiy mestnyi', 'Podnebesnyi' and 'Strelets'; they exceeded control by 14.7-29.0 %. According to the complex of valuable biochemical properties of garlic bulbs, five varieties can be distinguished: 'Chernomorskiy', 'Sofievskiy', 'Salgir', 'Mayskiy mestnyi', 'Podnebesnyi' (dry matter content – 38.0–38.7%, proportion of essential oils – 0.41–0.35 mg/100 g of raw weight). The best samples will be included in the further breeding work to create competitive garlic varieties for the conditions of the Crimean Peninsula.

Keywords: winter garlic (*Allium sativum* L.), variety, breeding, characteristics, yield, collection, selection, source material.

Елисеева Надежда Алексеевна, научный сотрудник отдела селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: nadezhda.19.60@mail.ru.

Костанчук Юлия Николаевна, старший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур; ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: kostanchuk_yu@niishk.ru.

Eliseeva Nadezhda Alekseevna, researcher of the Department of plant breeding and seed production of vegetables and melons, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: nadezhda.19.60@mail.

Kostanchuk Yuliya Nikolaevna, senior researcher of the Department of plant breeding and seed production of vegetables and melons, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: kostanchuk_yu@niishk.ru.

Дата поступления в редакцию – 04.02.2023.

Дата принятия к печати – 13.07.2023

EDN IBSESC

DOI 10.5281/zenodo.8271957

УДК 633.174:631.527.5

Капустин С. И.¹, Володин А. Б.¹, Капустин А. С.²

ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫЕ ПРИЗНАКИ НОВЫХ ГИБРИДОВ (F1) СОРГО САХАРНОГО И ИХ РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ

¹ ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»;

² ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Реферат. Для интенсификации животноводства на Северном Кавказе особое значение приобретают новые засухоустойчивые гибриды сорго. Цель исследований – изучение источников хозяйственных признаков, перспективных для использования в селекции сахарного сорго, адаптированных к возделыванию в засушливых условиях зоны. Полевые и лабораторные опыты по селекции и испытанию новых гибридов сорго осуществляли на опытном поле и лабораторной базе ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», расположенном в г. Михайловск Ставропольского края. Задача исследований – используя методы межвидовой и внутривидовой гибридизации получить новые гибриды, повысить их качество и продуктивность. Погодные условия вегетационных периодов 2021–2022 гг. можно охарактеризовать как достаточно благоприятные для роста и развития сорго. В гибридном питомнике F1 высевали 60 гибридов, из которых по сочетанию морфологических свойств, ботанических признаков и элементов структуры урожая выделено 25 новых образцов. В среднем за 2021–2022 гг. самыми раннеспелыми были комбинации, созданные с участием стерильной линии А-3615 и восстановителей фертильности Л-7897, Лиственник, Сахара, Ставропольское 36. Период «всходы-выметывание» у этих форм составил 43–51 дней, что ниже стандарта на 3–11 дней. Самая значительная высота растений получена у комбинаций Зерста 38А × Лиственник (285 см), Княжна × Северное 44 (279 см), А-3615 × Оранжевое (270 см) и др. Высокой облиственностью характеризовались гибриды А-3529 × Крымское (20,0 %) и А-3615 × Галия (18,8 %). Наибольшая масса одного растения (более 600 г) установлена у 10 новых гибридов – А-3529 × Крымское (920 г); Княжна × Северное 44 (873 г) и др. В контроле вес одного растения составил 533 г. Самые высокие показатели уровня гетерозиса в сравнении со средними значениями родительских форм установлены для высоты растений (68–101 %).

Ключевые слова: сорго сахарное (*Sorghum saccharatum Pers.*), селекция, гибрид, высота растений, облиственность, содержание сахара, уровень гетерозиса, вес зеленой массы.

Для цитирования: Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Хозяйственно ценные признаки новых гибридов (F1) сорго сахарного и их родительских форм // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 61–71. EDN: IBSESC. DOI 10.5281/zenodo.8271957.

For citation: Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Economically valuable signs of new *Sorghum saccharatum* hybrids (F1) and their parent forms // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 61–71. EDN: IBSESC. DOI 10.5281/zenodo.8271957.

Введение

Для интенсификации животноводства на Северном Кавказе и в Поволжье, где засушливость климата вызывает необходимость поиска путей стабилизации

кормопроизводства, особое значение приобретают новые засухоустойчивые линии, сорта и гибриды кормовых культур. Среди них особую важную роль играет сорго [1]. Это обусловлено высокими достоинствами его зерна и зеленой массы, разнообразием использования в кормопроизводстве [2]. Оно также является хорошим источником сырья для производства биотоплива и пищевых продуктов [3, 4].

Сок сахарного сорго применяют для изготовления сиропа на пищевые цели, а также продуктов питания, в том числе для больных диабетом II типа [5–7]. Исследователи считают, что количество и качество сахарного сока определяют генетические признаки сортов и гибридов [8, 9]. Для создания высокогетерозисных гибридов следует подбирать родительские формы с высокой комбинационной способностью [10, 11]. С использованием методов трансгенной селекции возможно увеличение засухоустойчивости и усиление процесса фотосинтеза [12–15].

Сорго не предъявляет высоких требований к почвенному плодородию, хорошо адаптировано к произрастанию при высокой температуре воздуха, недостатку влаги и ее экономному расходованию [16–19]. На образование единицы сухого вещества сорго расходует 300 частей воды, пшеница – 515, подсолнечник – 895 [3, 20].

В засушливый период растения сорго приостанавливают свой рост и развитие, остаются в анабиотическом состоянии до наступления благоприятных условий [21]. Замыкающие клетки устьичного аппарата имеют плотную оболочку, долгое время не парализуются и восстанавливают тургор после двухнедельной засухи. Факторами, повышающими засухоустойчивость сорго, являются мощная корневая система, большое количество устьиц при преимущественном их размещении с нижней стороны листа, большие запасы углеводов (сахаров) в клеточном соке при высокой его концентрации. При высоких температурах воздуха на листьях и стеблях выделяется белый восковидный налет, предохраняющий растения от сильного перегрева и испарения [22].

В кормовом балансе животных сорго используется на зеленый корм, сено, сенаж, силос, зернофураж, травяную муку, гранулы, выпас [23]. Несмотря на это, сорговые культуры еще не получили должного распространения в производстве. Расширение их посевов сдерживает недооценка биологических особенностей культуры, невыполнение требований сортовой агротехники. В производстве еще недостаточное количество адаптированных к местным условиям возделывания гибридов с минимальной уборочной влажностью зерна и обеспечивающих возможность организации рентабельного семеноводства [19].

Цель исследований – изучить источники хозяйственных признаков и биологических свойств, выявить наиболее перспективные для практического использования в селекции сахарного сорго, адаптированные к возделыванию в климатических условиях Центрального Предкавказья.

В задачи наших исследований входило изучить морфобиологические особенности сорго сахарного и, используя методы межвидовой и внутривидовой гибридизации, получить новые гибриды, повысить их продуктивность и качество, а также получить и размножить оригинальные семена в питомниках семеноводства.

Материалы и методы исследований

В 2021–2022 гг. экспериментальную часть полевых и лабораторных исследований по селекции и испытанию новых гибридов сорго сахарного осуществляли в соответствии с планом научно-исследовательских работ лаборатории селекции и первичного семеноводства сорго по утвержденной программе и методике на опытном поле и лабораторной базе ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», расположенных в г. Михайловске Ставропольского края.

Почвенным покровом опытного поля является типичный среднесуглинистый малогумусный мицеллярно-карбонатный чернозем. Глубина гумусового горизонта достигает 100–120 см с содержанием гумуса в пахотном слое почвы 3,2 % (по Тюрину). Обеспеченность почвы подвижными фосфорами минерального питания средняя. Нитратный азот определяли по Грандваль-Ляжу. Подвижный фосфор и калий – по Мачигину (ГОСТ 26205-91).

Погодные условия вегетационного периода 2021 г. характеризовались умеренно теплым температурным фоном и условиями увлажнения на уровне среднесуточной нормы. В июне и июле осадков выпало на 10–20 мм меньше среднесуточных значений, но в августе и сентябре этот показатель был на 46–55 мм больше нормы. Среднесуточная температура воздуха была на 1,9 °С выше нормы, что обусловило быстрое появление всходов и высокую полевую всхожесть. В июле–августе температурный режим превысил норму на 1,3–3,1 °С.

Условия вегетационного периода 2022 г. можно охарактеризовать как благоприятные для роста и развития сорго. Посев культурных растений проведен 12–14 мая. Период «посев-всходы» благодаря прохладной погоде второй половины мая увеличился до 12–14 дней. Однако дальнейшее развитие, цветение и созревание сорго проходили в сравнительно благоприятных условиях, что обеспечило высокий урожай с невысокой влажностью зерна. Повышение температуры воздуха наблюдали во все месяцы, кроме мая и июля, когда оно оказалось ниже уровня среднесуточных значений соответственно на 2,8 и 1,6 °С. В июне и сентябре количество осадков было на 30 и 25 % больше нормы.

Посевы селекционных питомников размещали в полевом севообороте на делянках с учетной площадью 5 м² в гибридном питомнике F1, 10 м² – в коллекционном и контрольном питомнике, 25 м² – в питомнике гибридизации и конкурсном испытании. Предшественник – озимая пшеница по черному пару. Способ посева – широкорядный с междурядьями 70 см. Густота стояния растений в рядках формировалась при ручной прорывке из расчета 160 тыс./га. Уход за посевами сахарного сорго осуществляли по общепринятой технологии, рекомендованной для зоны исследований [3, 18].

Оценку по морфологическим признакам, фенологические наблюдения, учет урожая, его структуры, оценку пораженности болезнями, заселенности вредителями, определение содержания сахара в соке стеблей, полегания растений, их облиственность, уровень гетерозиса проводили в соответствии с методическими указаниями ВИР для сорговых и просовидных культур (1967), методикой оценки и наблюдений широкого унифицированного классификатора СЭВ [24], методикой государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур [25]. Результаты исследований обрабатывали методом дисперсионного анализа однофакторного опыта по методике Б. А. Доспехова [26].

В летне–осенний период 2021–2022 гг. под пергаментными изоляторами проведено размножение и самоопыление новых перспективных образцов и стерильных линий. В качестве стандартов использовали гибрид Силосное 88 и сорт Ставропольское 36, которые высевали в селекционных и коллекционных питомниках через 15 вариантов. В среднем за два года у 522 вариантов сахарного сорго осуществлено 1510 самоопылений, а у семи стерильных линий – 326 скрещиваний с использованием пыльцы из коллекционного питомника. В качестве материнских форм использовали стерильные линии Зерста 38А, Зерста 90С, Княжна, А-63, А-3615, А-1012, А-3529.

Результаты и их обсуждение

В гибридном питомнике первого поколения сорго сахарного высевали 60 гибридов, из которых по сочетанию морфологических свойств, ботанических признаков и элементов структуры урожая выделили 25 новых образцов (таблицы 1, 2). Данные фенологических наблюдений показывают, что по продолжительности вегетационного периода большинство созданных в 2021 г. новых гибридов сахарного сорго относятся к среднеранней и среднеспелой группе. Более скороспелыми по сравнению со стандартом Силосное 88 были гибридные комбинации А-3615 и восстановителей фертильности Л-7897, Ставропольское 36, Сахара, Лиственник. Период «всходы-выметывание» у этих форм варьировал в пределах 43–51 дней.

Для получения более раннего зеленого корма и величины отавы важное значение имеет сила первоначального роста растений (высота на 30 день вегетации). По этому признаку превысили стандарт гибриды А-3615 × Ставропольское 36 (77 см), А-3615 × Оранжевое (75 см). На уровне стандарта Силосное 88 (72 см) по силе первоначального роста были растения комбинации А-3615 × Ставропольское 59.

Таблица 1 – Морфобиологические свойства гибридов первого поколения (F1) сорго сахарного (среднее за 2021–2022 гг.)

| Вариант | Дата | | Высота растений, см | | Длина метелки, см | Выдвинутость метелки, см | Кушение, ед. | Поврежденность головной балл | Полетание, балл | Содержание сахара, % |
|---------------------------------|--------|-------------|---------------------|----------|-------------------|--------------------------|--------------|------------------------------|-----------------|----------------------|
| | всходы | выметывание | на 30 день | фаза МВС | | | | | | |
| Силосное 88 (St.) | 26.05 | 19.07 | 72 | 245 | 29 | 2 | 3 | 0 | 0 | - |
| Княжна × Л-7859 | 25.06 | 21.07 | 69 | 260 | 30 | 17 | 3 | 0 | 2 | 13 |
| Княжна × Северное 44 | 30.05 | 23.07 | 55 | 279 | 30 | 17 | 2 | 0 | 0 | - |
| Коричневое 11С × Оранжевое 125 | 30.05 | 24.07 | 54 | 234 | 32 | 18 | 2 | 0 | 0 | - |
| А-63 × С-85 | 26.05 | 22.07 | 62 | 235 | 27 | 15 | 1 | 0 | 1 | 10 |
| А-63 × К-3048 | 31.05 | 30.07 | 50 | 242 | 20 | 3 | 1 | 0 | 2 | - |
| А-63 × Крымское | 26.05 | 23.07 | 61 | 230 | 17 | 2 | 1 | 0 | 2 | - |
| А-63 × Д-363, Черноград | 26.05 | 23.07 | 56 | 220 | 23 | 8 | 1 | 1 | 0 | - |
| А-3529 × Крымское | 26.05 | 23.07 | 60 | 270 | 22 | 15 | 2 | 0 | 0 | 11 |
| А-3615 × Галия | 30.05 | 22.07 | 61 | 245 | 10 | 11 | 2 | 0 | 2 | - |
| А-3615 × Л-7897 | 27.05 | 17.07 | 66 | 240 | 9 | 24 | 1 | 2 | 0 | 14 |
| А-3615 × Ставропольское 36 | 26.05 | 12.07 | 77 | 235 | 31 | 33 | 2 | 0 | 1 | 12 |
| А-3615 × Сахара | 30.05 | 12.07 | 65 | 230 | 27 | 33 | 2 | 0 | 1 | - |
| А-3615 – Лиственник | 30.05 | 16.07 | 55 | 220 | 26 | 34 | 2 | 0 | 0 | - |
| А-3615 × Ставропольское 59 – I | 30.05 | 18.07 | 63 | 253 | 32 | 5 | 2 | 1 | 0 | 13 |
| А-3615 × Ставропольское 59 – II | 25.05 | 20.07 | 72 | 262 | 24 | 3 | 2 | 0 | 1 | 13 |
| А-3615 × Северное 44 – I | 30.05 | 30.07 | 62 | 256 | 32 | 7 | 2 | 0 | 0 | - |
| А-3615 × Северное 44 – II | 26.05 | 22.07 | 60 | 232 | 26 | 7 | 3 | 0 | 0 | - |
| А-3615 × Оранжевое | 27.05 | 31.07 | 75 | 270 | 27 | 2 | 2 | 0 | 1 | 11 |
| А-3615 × Д-363, Черноград | 30.05 | 31.07 | 63 | 271 | 32 | 13 | 3 | 0 | 0 | 12 |
| А-3615 × К-3668 | 26.05 | 28.07 | 69 | 240 | 22 | 43 | 2 | 0 | 0 | - |
| R03 Ruff 20 | 27.05 | 28.07 | 49 | 227 | 19 | 12 | 1 | 0 | 2 | - |
| Зерста 38А × Лиственник | 29.05 | 23.07 | 65 | 285 | 32 | 23 | 2 | 0 | 0 | 18 |
| Зерста 38А × Дебют | 30.05 | 23.07 | 54 | 270 | 32 | 24 | 2 | 0 | 1 | 16 |
| Д-105 × 148, отбор 20 | 26.05 | 21.07 | 60 | 261 | 24 | 14 | 1 | 1 | 0 | 12 |
| НСР ₀₅ | | | 2,4 | 13,3 | 1,2 | | | | | |

В связи с проведением самоопылений и скрещиваний измерения высоты растений осуществляли в фазе молочно-восковой спелости (МВС). Все гибридные номера с высоким уровнем гетерозиса зеленой массы имеют прямую корреляционную зависимость с высотой растений. Наибольшая высота растений в фазе МВС установлена у комбинации Зерста 38А × Лиственник и составила 285 см, что выше показателей стандарта на 40,0 см. Варианты Княжна × Северное 44, А-3529 × Крымское, А-3615 × Оранжевое, А-3615 × Д363, Зерста 38А × Дебют превысили значения стандарта Силосное 88 на 25–34 см.

Облиственность растений – важный показатель качества зеленой массы. Мягкие, сочные листья хорошо поедаются всеми видами животных. Климатические условия в годы проведения исследований способствовали формированию растениями сорго сахарного высокой ассимиляционной поверхности листьев. У стандарта Силосное 88 в фазе молочно-восковой спелости облиственность составила 12,3 %. У новых гибридов самые высокие значения этого признака получены у комбинаций А-3529 × Крымское (20,0 %) и А-3615 × Галия (18,8 %). Значительно превышали стандарт показатели облиственности у вариантов Княжна × Л-7859 (17,5 %), Княжна × Северное 44 (15,1 %), А-3615 × Северное 44 (13,9 %), А-3615 × Д363 (14,0 %) и других.

Таблица 2 – Ботанические признаки и элементы структуры урожая гибридов первого поколения (F1) сорго сахарного (среднее за 2021–2022 гг.)

| Вариант | Количество листьев, шт. | Лист, см | | Длина ножки, см | Толщина стебля, см | Количество узлов, шт. | Масса, г | | | Облиственность, % |
|---------------------------------|-------------------------|----------|--------|-----------------|--------------------|-----------------------|----------|--------|---------|-------------------|
| | | длина | ширина | | | | растения | стебля | метелки | |
| Силосное 88 (St.) | 7 | 74 | 6 | 37 | 1,9 | 9 | 533 | 332 | 135 | 12,3 |
| Княжна × Л-7859 | 8 | 82 | 8 | 45 | 2,1 | 8 | 519 | 353 | 75 | 17,5 |
| Княжна × Северное 44 | 8 | 88 | 8 | 54 | 2,0 | 10 | 873 | 593 | 149 | 15,1 |
| Коричневое 11С × Оранжевое 125 | 8 | 79 | 8 | 49 | 1,9 | 8 | 556 | 397 | 90 | 12,4 |
| А-63 × С-85 | 8 | 70 | 4 | 45 | 1,9 | 9 | 445 | 289 | 109 | 10,6 |
| А-63 × К-3048 | 10 | 81 | 8 | 36 | 2,1 | 9 | 601 | 390 | 149 | 10,5 |
| А-63 × Крымское | 11 | 77 | 6 | 32 | 1,7 | 8 | 477 | 313 | 98 | 13,8 |
| А-63 × Д-363, Зерноград | 10 | 74 | 6 | 33 | 1,7 | 7 | 459 | 317 | 93 | 10,7 |
| А-3529 × Крымское | 11 | 81 | 8 | 40 | 2,5 | 11 | 920 | 609 | 127 | 20,0 |
| А-3615 × Галия | 7 | 79 | 7 | 42 | 1,8 | 8 | 787 | 522 | 117 | 18,8 |
| А-3615 × Л-7897 | 8 | 79 | 7 | 58 | 1,8 | 9 | 411 | 278 | 69 | 15,5 |
| А-3615 × Ставропольское 36 | 7 | 70 | 7 | 48 | 1,7 | 8 | 412 | 259 | 84 | 16,7 |
| А-3615 × Сахара | 7 | 77 | 6 | 62 | 1,7 | 8 | 329 | 219 | 73 | 11,3 |
| А-3615 – Лиственник | 7 | 76 | 6 | 52 | 1,6 | 8 | 298 | 180 | 74 | 14,2 |
| А-3615 × Ставропольское 59 – I | 8 | 89 | 8 | 53 | 2,1 | 10 | 673 | 443 | 143 | 12,9 |
| А-3615 × Ставропольское 59 – II | 9 | 81 | 8 | 44 | 2,2 | 10 | 693 | 465 | 134 | 13,6 |
| А-3615 × Северное 44 – I | 10 | 83 | 8 | 46 | 2,0 | 11 | 625 | 431 | 107 | 13,9 |
| А-3615 × Северное 44 – II | 9 | 80 | 8 | 38 | 2,0 | 9 | 663 | 427 | 155 | 12,2 |
| А-3615 × Оранжевое | 7 | 78 | 8 | 48 | 1,8 | 9 | 439 | 307 | 71 | 13,8 |
| А-3615 × Д-363, Зерноград | 12 | 78 | 8 | 51 | 1,9 | 11 | 623 | 418 | 112 | 14,0 |
| А-3615 × К-3668 | 8 | 80 | 7 | 52 | 2,0 | 10 | 655 | 418 | 147 | 13,7 |
| R03 Ruff 20 | 8 | 78 | 8 | 32 | 1,7 | 8 | 407 | 271 | 85 | 12,5 |
| Зерста 38А × Лиственник | 10 | 79 | 7 | 43 | 1,8 | 9 | 501 | 316 | 122 | 12,6 |
| Зерста 38А × Дебют | 9 | 78 | 7 | 56 | 1,9 | 9 | 409 | 253 | 104 | 12,7 |
| Д-105 × 148, отбор 20 | 10 | 81 | 8 | 43 | 1,7 | 11 | 531 | 390 | 72 | 13,0 |
| НСР ₀₅ | 0,4 | 3,1 | 0,3 | 2,2 | | | 23,2 | 19,8 | 5,9 | 0,73 |

Количество, длина и ширина листа – важнейшие показатели, формирующие ассимиляционную поверхность растений, а следовательно, урожайность и качество зеленой массы у сорго сахарного. У стандарта Силосное 88 количество листьев на одном растении составило 7 шт. (длина и ширина – 74 и 6 см соответственно). У новых гибридов с высокой облиственностью эти показатели были существенно выше. У гибрида А-3529 × Крымское листьев – 11 шт., длина 81 см, ширина листовой пластинки 8 см, у комбинации А-3615 × Северное 44 аналогичные показатели составили соответственно 10 шт., 83 и 8 см, у А-3615 × Д363 – 12 шт., 78 и 8 см, у Зерста 38А × Лиственник – 10 шт., 79 и 7 см.

В фазе восковой спелости зерна осуществляли разбор образцов питомника гибридов первого поколения по 10 растений каждого варианта. Путем взвешивания определяли среднюю массу одного растения, массу стебля и метелки. Наибольшая масса одного растения в период молочно-восковой спелости зерна (более 600 г) установлена у 10 новых гибридов – А-3529 × Крымское (920 г), Княжна × Северное 44 (873 г), А-63 × К-3048 (601 г), А-3615 × Галия (787 г), А-3615 × Ставропольское 59 (693 г), А-3615 × Северное 44 (663 г), А-3615 × Д-363 (623 г), А-3615 × К-3668 (655 г). Контрольный вариант Силосное 88 обеспечил получение 533 г зеленой массы с одного растения. Масса стебля у лучших гибридных комбинаций варьировала в пределах 418–609 г., а масса метелки – 117–155 г.

У отцовских форм-восстановителей фертильности у новых гибридов для получения достаточного количества пыльцы большое значение имеет размер и масса метелки. Самый высокий показатель длины метелки (27–30 см) наблюдали у линий и сортов К-3668, Лиственник, Д-363 и других. Максимальной массой метелки характеризовались сорта Лиственник (98 г), Крымское (92 г), Ставропольское 59 (79 г) (таблица 3).

Таблица 3 – Ботанические и морфологические признаки родительских форм гибридов сорго сахарного (среднее за 2021–2022 гг.)

| Вариант | Дата выметывания | Высота растений, см | Количество листьев, шт. | Лист, см | | Толщина стебля, см | Длина метелки, см | Выдвинутость метелки, см | Содержание сахаров, % | Цвет зерна | Масса, г | | | Облиственность, % |
|--|------------------|---------------------|-------------------------|----------|--------|--------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------|------------|----------|--------|---------|-------------------|
| | | | | длина | ширина | | | | | | растения | стебля | метелки | |
| Материнские стерильные линии | | | | | | | | | | | | | | |
| Зерста 38А | 17.07 | 128 | 8 | 68 | 7 | 1,8 | 34 | 34 | - | белый | 202 | 84 | 84 | 16,8 |
| Зерста 90С | 17.07 | 191 | 7 | 71 | 7 | 2,0 | 20 | 34 | 16,1 | красный | 350 | 216 | 88 | 14,6 |
| Княжна | 15.07 | 183 | 6 | 74 | 8 | 2,0 | 31 | 50 | 14,5 | белый | 364 | 218 | 98 | 13,2 |
| А-63, St. | 23.07 | 129 | 8 | 66 | 8 | 1,9 | 21 | 33 | 16,0 | красный | 352 | 210 | 96 | 13,1 |
| А-3615 | 18.07 | 124 | 6 | 66 | 7 | 1,8 | 28 | 45 | - | белый | 186 | 82 | 60 | 20,6 |
| НСР ₀₅ | | 5,1 | | | | | 1,3 | 1,9 | | | 9,3 | 6,6 | 3,1 | |
| Отцовские формы – восстановители фертильности | | | | | | | | | | | | | | |
| Ставропольское 59 | 27.07 | 221 | 9 | 68 | 8 | 1,6 | 20 | 18 | 17,1 | красный | 402 | 270 | 79 | 13,2 |
| Северное 44 | 26.07 | 235 | 8 | 66 | 5 | 1,4 | 22 | 5 | 12,8 | красный | 268 | 167 | 51 | 18,7 |
| Крымское | 31.07 | 228 | 9 | 65 | 7 | 1,8 | 21 | 2 | 13,2 | красный | 437 | 287 | 92 | 13,3 |
| Лиственник | 16.07 | 240 | 7 | 63 | 7 | 1,8 | 28 | 20 | 13,2 | черный | 452 | 284 | 98 | 15,5 |
| Дебют | 23.07 | 210 | 8 | 60 | 5 | 1,6 | 22 | 8 | 15,4 | красный | 266 | 152 | 63 | 19,2 |
| К-3668, St. | 28.07 | 204 | 9 | 62 | 7 | 1,6 | 30 | 21 | 13,1 | красный | - | - | - | - |
| Д-366, Зерноград | 24.07 | 235 | 9 | 64 | 6 | 1,7 | 27 | 16 | 11,4 | черный | - | - | - | - |
| НСР ₀₅ | | 8,2 | | | | | 1,5 | 1,1 | | | 12,7 | 7,1 | 3,8 | |

От толщины стебля в значительной степени зависит устойчивость сорговых растений к полеганию. У выделившихся новых гибридов сахарного сорго показатели толщины стебля варьировали в пределах 1,9–2,2 см. При этом полегание растений в третьей декаде октября или отсутствовало (0 баллов) или было минимальным (1 балл).

Показатели кустистости у новых гибридов сорго сахарного (2,2–2,8) были максимальными у вариантов, где в качестве отцовских форм использовали Северное 44, Лиственник, Д-363, Ставропольское 59. Для рентабельного семеноводства кроме размера метелки важное значение имеет и ее выдвинутость из раструба верхнего листа. По сочетанию этих признаков (длина метелки 22–32 см) и ее выдвинутость (20–43 см) выделены семь новых гибридных комбинаций – Княжна × Л-7859, Княжна × Северное 44, А-3529 × Крымское, А-3615 × Ставропольское 36, А-3615 × Лиственник; А-3615 × К-3668, Зерста 38А × Дебют.

Наибольшее содержание сахара в соке стеблей установлено у Зерста 38А × Лиственник (17,8 %), Зерста 38А × Дебют (15,6 %).

Самый высокий уровень гетерозиса в сравнении с средними значениями родительских форм отмечен для показателей: высота растений, количество, длина и ширина листьев, длина метелки (таблица 4).

Таблица 4 – Уровень гетерозиса основных хозяйственно-биологических признаков у гибридов первого поколения сорго сахарного

| Вариант | Уровень гетерозиса у F1 в сравнении с средними значениями родительских форм | | | | | | |
|---------------------------------|---|------------|-------------------|-------------------------|----------|--------|-------------------|
| | высота растений, см | | выметывание, дней | количество листьев, шт. | Лист, см | | длина метелки, см |
| | на 30 день | в фазе МВС | | | длина | ширина | |
| Силосное 88 (St.) | 20,0 | 63,0 | -0,5 | -1,0 | 2,0 | -2,0 | 3,5 |
| Княжна × Л-7859 | 12,0 | 45,0 | +4,5 | 2,0 | 18,0 | 1,5 | 2,5 |
| Княжна × Северное 44 | 2,0 | 70,0 | +2,5 | 1,0 | 14,0 | 1,5 | 3,5 |
| Коричневое 11С × Оранжевое 125 | -1,0 | 24,0 | 0,0 | 0,0 | 7,0 | 1,0 | 8,5 |
| А-63 × С-85 | 1,5 | 33,5 | -4,5 | -2,0 | -3,5 | -1,0 | 3,0 |
| А-63 × К-3048 | 5,0 | 37,5 | +3,5 | 0,0 | 2,0 | 0,0 | -1,0 |
| А-63 × Крымское | 14,5 | 51,5 | -4,0 | 2,5 | 11,5 | -1,5 | -4,0 |
| А-63 × Д-363 | 7,5 | 38,0 | -0,5 | 2,0 | 9,0 | -1,5 | -1,0 |
| А-3529 × Крымское | 13,5 | 73,5 | 0,0 | 1,0 | 6,0 | 1,0 | 1,5 |
| А-3615 × Галя | 8,0 | 68,0 | -2,5 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | -9,0 |
| А-3615 × Л-7897 | 11,0 | 53,0 | -0,5 | 1,0 | 0,0 | -1,0 | -7,0 |
| А-3615 × Ставропольское 36 | 24,0 | 45,0 | -7,0 | 0,0 | 7,0 | -0,5 | 0,5 |
| А-3615 × Сахара | 12,5 | 52,0 | -5,0 | 0,0 | 10,0 | -1,0 | 1,5 |
| А-3615 – Лиственник | 2,0 | 38,0 | -1,0 | 0,5 | 11,5 | -1,0 | -2,0 |
| А-3615 × Ставропольское 59 – I | 14,0 | 32,0 | -3,5 | 0,5 | 22,0 | 0,5 | 8,0 |
| А-3615 × Ставропольское 59 – II | 18,0 | 90,0 | -5,5 | 1,5 | 14,0 | 0,5 | 0,0 |
| А-3615 × Северное 44 – I | 11,0 | 76,5 | +6,0 | 2,5 | 17,5 | 2,0 | 7,0 |
| А-3615 × Северное 44 – II | 9,0 | 52,5 | 0,0 | 1,5 | 14,5 | 2,0 | 1,0 |
| А-3615 × Оранжевое | 22,5 | 94,5 | +6,0 | 0,0 | 9,0 | 1,0 | 0,0 |
| А-3615 × Д-363 | 12,0 | 91,5 | +8,0 | 2,5 | 13,0 | 1,5 | 4,5 |
| А-3615 × К-3668 | 15,0 | 76,0 | +4,0 | 0,5 | 16,0 | 0,0 | -7,0 |
| R03 Ruff 20 | - | - | - | - | - | - | - |
| Зерста 38А × Лиственник | 19,0 | 101,0 | +4,5 | 2,5 | 13,5 | 0,0 | 1,0 |
| Зерста 38А × Дебют | -3,0 | 101,0 | +3,0 | 1,0 | 12,5 | 1,0 | 4,0 |
| Д-105 × 148, отбор 20 | - | - | - | - | - | - | - |
| НСР ₀₅ | | 4,1 | | | - | | - |

По сочетанию этих признаков лучшие показатели гетерозиса установлены у гибридов F1 – Княжна × Северное 44, А-63 × Крымское, А-3529 × Крымское, А-3615 × Ставропольское 59, А-3615 × Северное 44, А-3615 × Оранжевое, А-3615 × Д-363, А-3615 × К-3668, Зерста 38А × Лиственник, Зерста 38А × Дебют и стандарта Силосное 88. У приведенных комбинаций уровень гетерозиса высоты растений в фазе молочно-восковой спелости варьировал в пределах 73,5–101 см. В фазе выметывания осуществлен учет ускорения (–) или замедления (+) развития растений. Количество листьев и их длина имели более значительные показатели, чем средние значения этих признаков у родительских форм изучаемых гибридов. Уровень гетерозиса ширины листа и длины метелки у большинства изучаемых вариантов был также выше, чем у их родительских форм.

Выводы

В среднем за 2021–2022 гг. максимальная высота растений у гибридов F1 установлена у комбинаций Зерста 38А × Лиственник (285 см), Княжна × Северное 44 (279 см), А-3529 × Крымское (285 см) и др.

Наибольшей облиственностью характеризовались гибриды А-3529 × Крымское (20,0 %) и А-3615 × Галия (18,8 %).

Наиболее высокие показатели уровня гетерозиса в сравнении со средними значениями родительских форм установлены для высоты растений (68–101 %), длины листьев (9–22 %), длины метелки (3,5–8,0 %).

Наибольшей массой одного растения (более 600 г) характеризовались 10 новых гибридов – Княжна × Северное 44, А-63 × Крымское, А-3529 × Крымское, А-3615 × Ставропольское 59, А-3615 × Северное 44, А-3615 × Оранжевое, А-3615 × Д-363, А-3615 × К-3668, Зерста 38А × Лиственник, Зерста 38А × Дебют.

Литература

1. Шевченко П. Д., Балакай Г. Т. Кормопроизводство степной зоны России. Новочеркасск: Оникс+, 2007. 421 с.
2. Алабушев А. В., Анипенко Л. Н., Гурский Н. Г., Коломиец Н. Я., Костылев П. И., Мангуш П. А., Алабушева О. И. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика). Самара: Книга, 2003. 368 с.
3. Кулинцев В. В., Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С., Паньков Ю. И. Возделывание сорго и однолетних кормовых культур на семена: Монография. Ставрополь: Сервис-школа, 2019. 128 с. DOI: 10.25930/0ка6-v903.
4. Горпиниченко С. И., Ляшов П. И., Ермолина Г. М., Метлина Г. В., Шарова О. Д., Ковтунов В. В. Технология возделывания сорго сахарного. Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2009. 24 с.
5. Eggleston G., Lima I. Sustainability issues and opportunities in the sugar and sugar-bioproduct industries // Sustainability (Switzerland). 2015. No. 7(9). P. 12209–12235. DOI: 10.3390/su70912209.
6. Lyumugabe F., Gros J., Songa E. B., Thonart P. Sorghum beer brewing using *Eleusine coracana* “finger millet” to improve the saccharification // American Journal of Food Technology. 2015. No. 10(4). P. 167–175. DOI: 10.3923/ajft.2015.167.175.
7. Askarbekov E. B., Baygazieva G. I. Sweet sorghum use in the production of alcohol // Research Journal of Applied Sciences. 2015. No. 10(9). P. 501–504.
8. Arora M., Kocher G. S., Sohu R. S. Evaluation of sweet sorghum varieties for their juice characteristics // Journal of Food, Agriculture and Environment. 2017. No. 15(2). P. 58–61.
9. Reddy P. S., Reddy B. V. S., Rao P. S. Genotype by sowing date interaction effects on sugar yield components in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench.) // SABRAO Journal of Breeding and Genetics. 2014. Vol. 46 (2). P. 305–312.
10. Kibalnik O. P. Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35- 1A types of cytoplasmic male sterility // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017. Vol. 21. Iss. 6. P. 651–656. DOI: 10.18699/VJ17.282.
11. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Гетерозисная селекция сорго-суданковых гибридов // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3 (31). С. 75–83. EDN: OJTQPT.

12. Zhu Y., Wang X., Huang L., Lin C., Zhang X., Xu W., Peng J., Li Z., Yan H., Luo F., Wang X., Yao L., Peng D. Transcriptomic identification of drought-related genes and SSR markers in sudan grass based on RNA-seq // *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. No. 687. DOI: 10.3389/fpls.2017.00687.
13. Han P.-A., Lu X.-P., Mi F.-G., Zhang R.-X., Li M.-N., Xue C.-L., Dong J., Cong M.-L. Analysis of heterosis in sorghum-sudangrass hybrid seedlings based on proteomics // *Acta Agronomica Sinica (China)*. 2016. Vol. 42. Iss. 5. P. 696–705. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2016.00696.
14. Lu X.-P., Liu D.-D., Wang S.-Y., Mi F.-G., Han P.-A., Lü E.-S. Genetic effects and heterosis prediction model of *Sorghum bicolor* × *S. sudanense* grass // *Acta Agronomica Sinica (China)*. 2014. Vol. 40. Iss. 3. P. 466–475 DOI: 10.3724/SP.J.1006.2014.00466.
15. Yu X.-X., Liu Z.-H., Yu Z., Shi Y., Li X.-Y. Development of SSR markers linked to low hydrocyanic acid content in sorghum-sudan grass hybrid based on BSA method // *Protein and Peptide Letters*. 2016. Vol. 23. Iss. 5. P. 417–423. DOI: 10.2174/0929866523666160322153559.
16. Han P., Lu X., Mi F., Dong J., Xue C., Li J., Han B., Zhang X. Proteomic analysis of heterosis in the leaves of sorghum-sudangrass hybrids // *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*. 2015. Vol. 48. Iss. 2. P. 161–173. DOI: 10.1093/abbs/gmv126.
17. Шорин П. М., Малиновский Б. Н., Мирошниченко В. Ф. Сорго – ценная кормовая культура. М.: Колос, 1973. 109 с.
18. Капустин С. И., Володин А. Б. Возделывание сорго и однолетних кормовых культур в засушливых условиях юга России. Ставрополь: Сервис-школа, 2022. 103 с.
19. Землянов В. А. Факторы управления семенной продуктивностью сорго сахарного на Дону. Ростов-на-Дону: Книга, 2011. 192 с.
20. Baranovsky A. V., Sadovoy A. S., Kapustin S. I., Kapustin A. S., Stroyny A. M., Golub A. S. Characteristics of consumptive water use of millet and sorghum depending on the sowing time in dry conditions of steppe zone // *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJES)*. 2022. Vol. 12(1). P. 1–6. DOI: 10.31407/ijees12.101.
21. Шепель Н. А. Сорго. Волгоград: Комитет по печати, 1994. 448 с.
22. Барановский А. В., Денисенко А. И., Дранищев Н. И., Дремлюк Г. К., Красенков С. В. Рекомендации по технологии возделывания и использованию сорговых культур. Луганск: Копир-центр, 2014. 56 с.
23. Черенков А. В., Дзюбецкий Б. В., Барановский А. В. Сорговые культуры: технология, использование, гибриды и сорта. Днепропетровск: Роял Принт, 2011. 63 с.
24. Якушевский Е. С., Варадинов С. Г., Корнейчук В. А., Баняи Л. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum* Moench. Л.: ВИР, 1982. 34 с.
25. Федин М. А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: МСХ СССР, 1985. 267 с.
26. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 335 с.

References

1. Shevchenko P. D., Balakai G. T. Forage production in the steppe zone of Russia. Novocheerkassk: Oniks+, 2007. 421 p.
2. Alabushev A. V., Anipenko L. N., Gursky N. G., Kolomiets N. Ya., Kostylev P. I., Mangush P. A., Alabusheva O. I. Sorghum (selection, seed production, technology, economics). Samara: Kniga, 2003. 368 p.
3. Kulintsev V. V., Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S., Pankov Yu. I. Cultivation of sorghum and annual forage crops for seeds: Monograph. Stavropol: Servis-Shkola, 2019. 128 p. DOI: 10.25930/0ka6-v903.
4. Gorpichenko S. I., Lyashov P. I., Ermolina G. M., Metlina G. V., Sharova O. D., Kovtunov V. V. Technology of cultivation of sugar sorghum. Rostov-on-Don: Rostizdat, 2009. 24 p.
5. Eggleston G., Lima I. Sustainability issues and opportunities in the sugar and sugar-bioproduct industries // *Sustainability (Switzerland)*. 2015. No. 7(9). P. 12209–12235. DOI: 10.3390/su70912209.
6. Lyumugabe F., Gros J., Songa E.B., Thonart P. Sorghum beer brewing using *Eleusine coracana* “finger millet” to improve the saccharification // *American Journal of Food Technology*. 2015. No. 10(4). P. 167-175. DOI: 10.3923/ajft.2015.167.175.
7. Askarbekov E.B., Baygazieva G.I. Sweet sorghum use in the production of alcohol // *Research Journal of Applied Sciences*. 2015. No. 10(9). P. 501-504.
8. Arora M., Kocher G.S., Sohu R.S. Evaluation of sweet sorghum varieties for their juice characteristics // *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 2017. No. 15(2). P. 58-61.
9. Reddy P. S., Reddy B. V. S., Rao P. S. Genotype by sowing date interaction effects on sugar yield components in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. moench) // *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*. 2014. Vol. 46 (2). P. 305–312.

10. Kibalnik O. P. Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35- 1A types of cytoplasmic male sterility // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017. Vol. 21. Issue 6. P. 651–656. DOI: 10.18699/VJ17.282.
11. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Heterosis breeding of sorghum-sudan grass hybrids // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3 (31). P. 75-83. EDN: OJTQPT.
12. Zhu Y., Wang X., Huang L., Lin C., Zhang X., Xu W., Peng J., Li Z., Yan H., Luo F., Wang X., Yao L., Peng D. Transcriptomic identification of drought-related genes and SSR markers in sudan grass based on RNA-seq // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. No. 687. DOI: 10.3389/fpls.2017.00687.
13. Han P.-A., Lu X.-P., Mi F.-G., Zhang R.-X., Li M.-N., Xue C.-L., Dong J., Cong M.-L. Analysis of heterosis in sorghum-sudangrass hybrid seedlings based on proteomics // Acta Agronomica Sinica (China). 2016. Vol. 42. Iss. 5. P. 696–705. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2016.00696.
14. Lu X.-P., Liu D.-D., Wang S.-Y., Mi F.-G., Han P.-A., Lü E.-S. Genetic effects and heterosis prediction model of *Sorghum bicolor* × *S. sudanense* grass // Acta Agronomica Sinica (China). 2014. Vol. 40. Iss. 3. P. 466–475 DOI: 10.3724/SP.J.1006.2014.00466
15. Yu X.-X., Liu Z.-H., Yu Z., Shi Y., Li X.-Y. Development of SSR markers linked to low hydrocyanic acid content in sorghum-sudan grass hybrid based on BSA method // Protein and Peptide Letters. 2016. Vol. 23. Iss. 5. P. 417–423. DOI: 10.2174/0929866523666160322153559.
16. Han P., Lu X., Mi F., Dong J., Xue C., Li J., Han B., Zhang X. Proteomic analysis of heterosis in the leaves of sorghum-sudangrass hybrids // Acta Biochimica et Biophysica Sinica. 2015. Vol. 48. Issue 2. P. 161–173. DOI: 10.1093/abbs/gmv126.
17. Shorin P.M., Malinovsky B.N., Miroshnichenko V.F. Sorghum is a valuable fodder crop. Moscow: Kolos, 1973. 109 p.
18. Kapustin S.I., Volodin A.B. Cultivation of sorghum and annual fodder crops in arid conditions in southern Russia. Stavropol: Servis-Shkola, 2022. 103 p.
19. Zemlyanov V.A. Factors of control seed productivity of sugar sorghum on the Don. Rostov-on-Don: Kniga, 2011. 192 p.
20. Baranovsky A.V., Sadovoy A.S., Kapustin S.I., Kapustin A.S., Stroyny A.M., Golub A.S. Characteristics of consumptive water use of millet and sorghum depending on the sowing time in dry conditions of steppe zone // International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES). 2022. Vol. 12(1). P. 1-6. DOI: 10.31407/ijeess12.101.
21. Shepel N.A. Sorghum. Volgograd: Press Committee, 1994. 448 p.
22. Baranovsky A.V., Denisenko A.I., Dranishchev N.I., Dremlyuk G.K., Krasnenkov S.V. Recommendations on technology of cultivation and use of sorghum crops. Lugansk: Kopir-tsentr, 2014. 56 p.
23. Cherenkov A.V., Dzyubetsky B.V., Baranovsky A.V. Sorghum crops: technology, use, hybrids and varieties. Dnepropetrovsk: Royal Print, 2011. 63 p.
24. Yakushevsky E.S., Varadinov S.G., Korneichuk V.A., Banyai L. Wide unified CMEA classifier and international CMEA classifier of cultivated species of the genus *Sorghum* Moench. Leningrad: VIR, 1982. 34 p.
25. Fedin M. A. Methods of state variety testing of agricultural crops. Moscow: USSR Ministry of Agriculture, 1985. 267 p.
26. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kolos, 1985. 335 p.

UDC 633.174:631.527.5

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

ECONOMICALLY VALUABLE SIGNS OF NEW *SORGHUM SACCURATUM* HYBRIDS (F1) AND THEIR PARENT FORMS

Summary. *In the North Caucasus, new drought-tolerant sorghum hybrids are particularly important in the context of animal husbandry intensification. The purpose of the research was to study the sources of economically valuable signs promising in Sorghum saccuratum breeding and adapted to cultivation under arid conditions of the zone. Field-based and laboratory-based experiments concerning breeding and testing new sorghum hybrids were conducted on the experimental field and laboratory facilities of the North Caucasus Federal Agricultural Research Center located in the town of Mikhailovsk (Stavropol Krai). The objective of the research was to obtain new hybrids with improved indicators of productivity and quality using interspecific and intraspecific hybridization methods. Weather conditions in 2021-2022 was favourable for sorghum growth and*

development. In the F1 hybrid nursery, sixty hybrids were sown. Twenty-five of them were selected based on a combination of morphological properties, botanical characteristics and yield structure elements. On average over the period of 2021–2022, the most early-ripening were combinations of sterile line 'A-3615' and fertility restorers 'L-7897', 'Listvennik', 'Sahara', 'Stavropolskoye 36'. The sprouting-heading period for these forms lasted 43–50 days; compared to standard, it was 3–11 days less. The most significant plant height was obtained in combinations 'Zersta 38A' × 'Listvennik' (285 cm), 'Knyazhna' × 'Severnoye 44' (279 cm), 'A-3615' × 'Oranzhevoye' (270 cm), etc. Hybrids 'A-3529' × 'Krymskoye' and 'A-3615' × 'Galiya' were the leafiest (the most foliated) ones – 20 and 18.8%, respectively. The largest weight of one plant (more than 600 g) was found in 10 new hybrids – 'A-3529' × 'Krymskoye' (920 g), 'Knyazhna' × 'Severnoye 44' (873 g), etc.; in the control variant, this indicator was 533 g. The highest levels of heterosis compared to the average values of parental forms were established for plant height (68–101%).

Keywords: *Sorghum saccharatum*, breeding, hybrid, plant height, foliage, sugar content, heterosis level, green mass weight.

Капустин Сергей Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства сорго, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: sniish@mail.ru.

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

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

Kapustin Sergey Ivanovich, Cand. Sc. (Agr.), associate professor, senior researcher of the Laboratory of selection and primary seed sorghum breeding, FSBSI "North Caucasus Federal Agricultural Research Center"; 49, Nikonova str., Mikhailovsk, 356241, Russia; e-mail: sniish@mail.ru.

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

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

Дата поступления в редакцию – 17.02.2023.

Дата принятия к печати – 13.03.2023.

EDN IUDJFX

DOI 10.5281/zenodo.8271986

УДК 631.171.004.3:004.932

Кутырёв А. И., Филиппов Р. А.

РАСПОЗНАВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНЫХ ЧАСТЕЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ (CNN)

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Реферат. В статье предложен метод сбора, анализа и классификации данных для распознавания генеративных частей земляники садовой с применением сверточной нейронной сети. Трансферное обучение модели сверточной нейронной сети YOLOv7 проведено на наборе данных с выделением четырех классов развития генеративных образований. В результате проведенных исследований (2022 г.) сформирован набор изображений цветков, завязей, зрелых и незрелых ягод. Для обеспечения баланса классов в используемом наборе данных применен метод искусственного увеличения выборки путем создания новых изображений на основе существующих данных, который включал в себя такие операции как горизонтальное и вертикальное отражение, поворот на заданный угол, случайное добавления шума, размытие по Гауссу. Для сбора данных использован квадрокоптер DJI Phantom 2 с подвесом DJI Zenmuse Gimbal с камерой GoPro HD HERO3. Для оценки качества работы модели YOLOv7 при распознавании заданных классов использованы известные метрики Precision (точность), Recall (полнота), AP (средняя точность) и F-score (F-мера). Проведена оценка показателей при распознавании как индивидуальных классов, так и по всем классам в среднем. Анализ полученных результатов показал, что средняя абсолютная процентная ошибка распознавания изображений тестовой выборки всех классов составила 8,1 %. Наиболее сложным для распознавания оказался класс «ovary_strawberry» – завязь земляники садовой, средняя абсолютная процентная ошибка которого составила 13 %. Средняя точность подсчета по всем классам при использовании модели YOLOv7 в сравнении с подсчетом экспертами-агрономами составила 90,2 %. Использование полученных в полевых условиях данных по каждому компоненту продуктивности растений и коэффициентов соотношений между ними позволит определять потенциальную и фактическую урожайность, а также осуществлять управление этой урожайностью, руководствуясь биологической продуктивностью различных сортов земляники садовой.

Ключевые слова: сверточная нейронная сеть, трансферное обучение, классификация данных, распознавание, земляника садовая.

Для цитирования: Кутырёв А. И., Филиппов Р. А. Распознавание генеративных частей земляники садовой с использованием сверточной нейронной сети // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 72–86. EDN: IUDJFX. DOI 10.5281/zenodo.8271986.

For citation: Kutyrav A. I., Filippov R. A. Recognition of generative parts of *Fragaria × ananassa* using convolutional neural network (CNN) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 72–86. EDN: IUDJFX. DOI 10.5281/zenodo.8271986.

Введение

Земляника садовая (*Fragaria × ananassa*) является одной из наиболее распространённых и ценных ягодных культур благодаря высокой питательной ценности, скороплодности и высокому урожаю с единицы площади, а также длительному периоду плодоношения. На её долю приходится до 72 % валового

производства всех ягодных культур в мире [1–3].

Потенциальная урожайность земляники садовой определяется такими показателями как количество цветоносов, цветковых почек, завязей и незрелых плодов. В настоящее время для оценки потенциальной урожайности проводят визуальные осмотры насаждений экспертами-агрономами, результаты которых сопоставляют с данными по урожайности за несколько предыдущих лет [4–6]. Визуальный осмотр требует высокой квалификации специалистов и значительных затрат времени, что обусловлено необходимостью тщательного ручного подсчета всех компонентов генеративных частей растения земляники садовой. Применяемый метод проведения наземных осмотров имеет значительные ограничения в точности определения ключевых фаз развития растений земляники. Недостатки данного метода могут быть решены с помощью автоматических инструментов классификации и обработки цифровых данных с RGB-камер [7–9].

Важным элементом планирования технологических процессов и определения объемов производства плодов земляники садовой является своевременный мониторинг состояния растений, а также текущей и потенциальной урожайности. Применение современных технологий мониторинга насаждений, основанных на использовании технологий машинного обучения и компьютерного зрения, позволит оптимизировать процесс возделывания земляники садовой, снизить потери и улучшить качество товарной продукции, обеспечить повышение эффективности использования материальных и трудовых ресурсов [10].

Для более быстрого и точного процесса подсчета генеративных частей земляники садовой предлагается автоматизировать данный процесс путём применения алгоритмов машинного обучения, таких как сверточные нейронные сети (CNN).

Анализ исследований по применению методов машинного обучения для распознавания биологических объектов показал, что среди существующих моделей нейронных сетей, таких как SSD (Single Shot MultiBox Detector), Faster R-CNN (Region-based Convolutional Neural Networks), RetinaNet, EfficientDet, Mask R-CNN наиболее производительной моделью является современная модель YOLOv7 (You Only Look Once). Архитектура модели YOLOv7 позволяет распознавать объекты в режиме реального времени. Модель использует сверточные нейронные сети для извлечения признаков и детектирования объектов, позволяет обнаруживать множество объектов на изображении и присваивать им соответствующие классы и ограничивающие рамки. Модель YOLOv7 устойчива к изменениям освещения, размытия, теням и другим условиям, что делает её эффективной в различных сценариях обнаружения объектов. Она позволяет обрабатывать изображения со скоростью до 244 кадров в секунду на GPU (графический процессор) или до пяти кадров в секунду на CPU (центральный процессор). Используемая модель YOLOv7 содержит 227 слоев, включая семь блоков CSPDarknet53, 4 блока SPP (Spatial Pyramid Pooling) и три слоя YOLO. Модель обеспечивает высокую точность распознавания объектов благодаря использованию техники машинного обучения, такой как обучение на большом объеме данных (Big Data) [12, 13].

Цель исследований – разработка метода сбора, анализа и классификации данных для распознавания генеративных частей земляники садовой, подсчета их количества на изображениях на основе сверточной нейронной сети YOLOv7 с использованием трансферного обучения (Transfer Learning).

Материалы и методы исследований

В исследованиях использован метод трансферного обучения (Transfer Learning), который заключается в адаптации предварительно обученной модели

YOLOv7 на датасете COCO (Common Objects in Context) для обучения на новых данных. Данный метод позволяет использовать знания модели, полученные при решении одной задачи, для решения другой более узкой задачи, что позволяет ускорить процесс обучения для распознавания объектов в новой области или с новыми характеристиками и повысить точность распознавания объектов [14, 15].

Для сбора набора данных (изображений) использован квадрокоптер DJI Phantom 2 с подвесом DJI Zenmuse Gimbal с камерой GoPro HD HERO3 Edition (CHDX-301). Разрешение матрицы 12МП, разрешение видео – 4096×2160 Пикс (4K Ultra HD), фокусное расстояние камеры фиксированное – 2,77 мм (широкоугольный объектив). Сбор данных проведен в ЗАО «Совхоз имени Ленина», сорт земляники садовой Зенга-Зенгана. Маршрут полета квадрокоптера включал в себя движение над рядами земляники садовой челночным способом, на высоте не более 2 м. С помощью квадрокоптера был собран набор данных в количестве 2000 изображений. Освещение во время съемки составляло от 60000 лк до 110000 лк.

Для подготовки набора данных для обучения модели YOLOv7 проведено аннотирование полученных изображений с использованием сервиса CVAT (Computer Vision Annotation Tool). Аннотация изображений проведена экспертами путем выделения объектов в прямоугольную рамку и дальнейшей классификации (выбора класса к которому принадлежит объект в рамке).

Выделено четыре класса генеративных образований земляники садовой для обучения нейронной сети: цветы (класс «flower_strawberry»), завязь (класс «ovary_strawberry»), незрелая ягода (класс «unripe_strawberry»), зрелая ягода (класс «ripe_strawberry»). К классу цветов относили генеративные образования с белыми лепестками, к классу завязь – генеративные образования с зачатком плода размером не более 1 см в длину, к классу незрелой ягоды – неспелый плод длиной больше одного сантиметра зеленого, белого и бело-розового цветов, зрелой ягоды – плоды полностью окрашенные в розовый или красный цвета. Формат JSON (JavaScript Object Notation) использован для хранения данных о разметке на изображениях растений земляники садовой (рисунок 1).

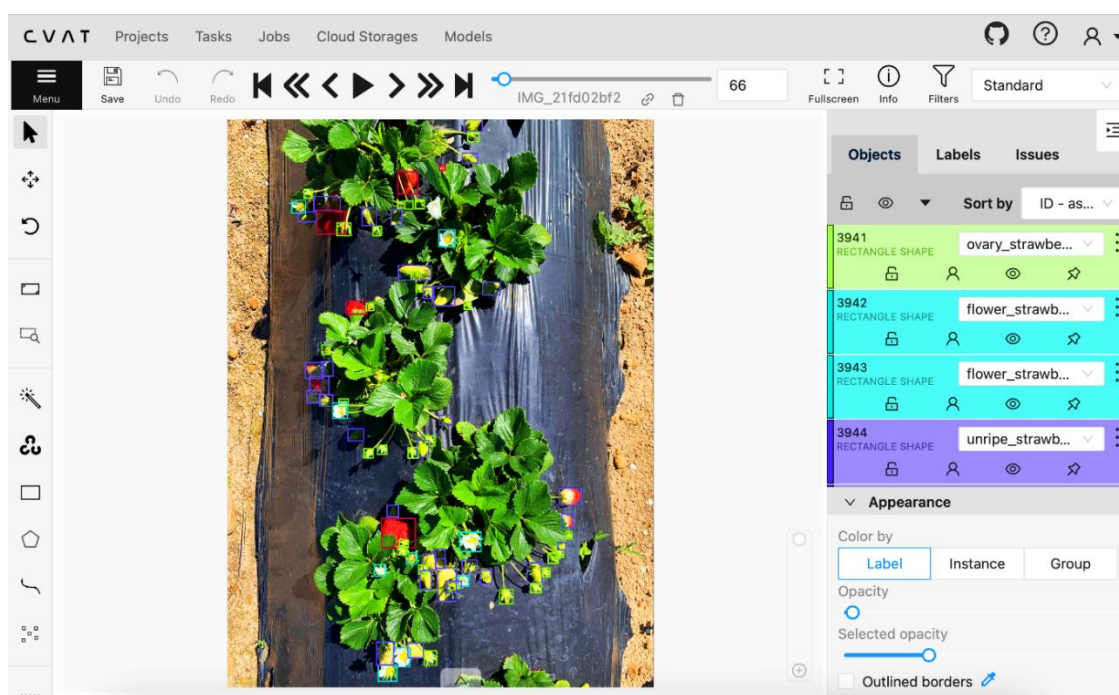


Рисунок 1 – Аннотирование изображений в сервисе CVAT

Для обеспечения баланса классов в используемом наборе данных применен метод Oversampling (искусственное увеличение выборки), путем создания новых примеров на основе существующих данных. Использован онлайн сервис Roboflow синтетической генерации данных (synthetic data generation). Аугментация данных включала в себя такие операции как горизонтальное и вертикальное отражение (flip: horizontal, vertical), поворот на угол, выбранный в пределах между -15° и $+15^\circ$ (rotation: between -15° and $+15^\circ$), случайное добавления шума, введение изменений в пиксели изображения в количестве до 5 % (noise: up to 5 % of pixels) и добавление размытия по Гауссу (blur: 10 px) (рисунок 2) [16].



Рисунок 2 – Примеры аугментации изображений используемого набора данных

Процесс аугментации изображений позволил увеличить объем выборки до 6000 изображений. Для обеспечения оптимального баланса классов проведено разделение набора данных в необходимом процентном соотношении на тренировочный, валидационный и тестовый наборы, что необходимо для оценки и контроля производительности модели на независимых данных. Тренировочный набор состоит из 4200 изображений (70 % от общего набора данных). Эти изображения используют для обучения модели. Во время тренировки модель анализирует эти изображения и обновляет свои веса и параметры, чтобы научиться распознавать и классифицировать объекты. Валидационный набор состоит из 1200 изображений (20 % от общего набора данных). Эти изображения используют для оценки производительности модели во время обучения. В процессе обучения модели на тренировочных данных, валидационный набор данных используют для проверки точности модели и настройки гиперпараметров, таких как скорость обучения, количество эпох и так далее. Тестовый набор состоит из 600 изображений (10 % от общего набора данных). Эти изображения не используют в процессе обучения и настройки модели. Они служат для окончательной оценки производительности модели после завершения обучения. На тестовом наборе данных оценивается способность модели классифицировать объекты, которые она не использовала во время обучения и валидации.

Для обучения модели YOLOv7 на созданной выборке данных использовано 250 эпох, каждая из которых состояла из нескольких итераций (batch). Размер итераций (batch size) на каждой эпохе составлял 16. Количество эпох установлено экспериментальным методом с учетом размера выборки данных, сложности

используемой модели, архитектуры модели и других параметров. Обновление параметров модели (в том числе весовых коэффициентов) после каждой эпохи производилось автоматически в процессе обучения модели с помощью алгоритма оптимизации (стохастический градиентный спуск, SGD), который настраивает веса модели на основе градиентов функции потерь (ошибки модели) и применяет их для обновления весов.

Для оценки качества работы модели YOLOv7 при распознавании объектов использованы известные метрики – Precision (точность), Recall (полнота), AP (средняя точность) и F-score (F-мера). Проведена оценка показателей при распознавании как индивидуальных классов (бинарная классификация, Binary Classification), так и по всем классам в среднем (мультиклассовая) классификация, Multi-Class Classification) (таблица 1) [17, 18]. Величина tp_i показывает количество объектов класса i , которые были правильно распознаны моделью, fp_i – количество объектов, которые модель неправильно отнесла к классу i , fn_i – количество объектов i -го класса, которые не были распознаны.

Таблица 1 – Метрики используемые для анализа качества работы модели YOLOv7 при распознавании заданных классов

| Метрика | Формула |
|--|--|
| При распознавании индивидуальных классов | |
| Precision (точность), | $\frac{tp_i}{tp_i + fp_i}$ |
| Recall (полнота) | $\frac{tp_i}{tp_i + fn_i}$ |
| AP (Average Precision) | $\int_{r=0}^1 Precision_i(r) dr$ |
| F-score (F-мера) | $2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}$ |
| При распознавании всех заданных классов | |
| Average recall (средняя точность) | $\frac{\sum_{i=1}^n Precision_i}{n}$ |
| Average precision (средняя полнота) | $\frac{\sum_{i=1}^n Recall_i}{n}$ |
| mAP (mean average precision) | $\frac{(AP_1 + AP_2 + \dots + AP_n)}{n}$ |
| Average F-score (средняя F-мера) | $\frac{\sum_{i=1}^n 2 \cdot \frac{Precision_i \cdot Recall_i}{Precision_i + Recall_i}}{n}$ |

Метрика точности показывает долю правильно распознанных объектов класса i относительно всех объектов, которые модель отнесла к данному классу. Чем выше точность, тем меньше ложноположительных результатов, то есть объектов, которые модель неправильно отнесла к классу i . Полнота показывает, какую долю объектов данного класса из общего числа объектов алгоритм смог распознать. Метрика средней точности использована для оценки производительности алгоритма классификации и распознавания объектов. Она определена путем нахождения площади под кривой «точность–полнота» (Precision-Recall curve), которая строится по результатам работы алгоритма. Для определения среднего гармонического значения между precision и recall использована метрика F1-score. Для анализа среднего показателя AP по всем классам использована метрика mAP (mean average precision), которая позволяет оценить общее качество работы алгоритма по всем классам объектов.

Для оценки точности прогноза идентификации генеративных частей земляники садовой проведен расчет средней абсолютной ошибки (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) анализируемой модели нейронной сети YOLOv7, с использованием формулы 1:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^K \left| \frac{\Phi_i - \Pi_i}{\Phi_i} \right| \quad (1)$$

где Φ_i – фактическое количество распознанных классов на тестовой выборке, шт. (классифицированных визуальным методом экспертами-агрономами), Π_i – количество распознанных классов, верно идентифицированных с помощью модели сверточной нейронной сети, шт.

Общая схема проведения исследований представлена на рисунке 3.

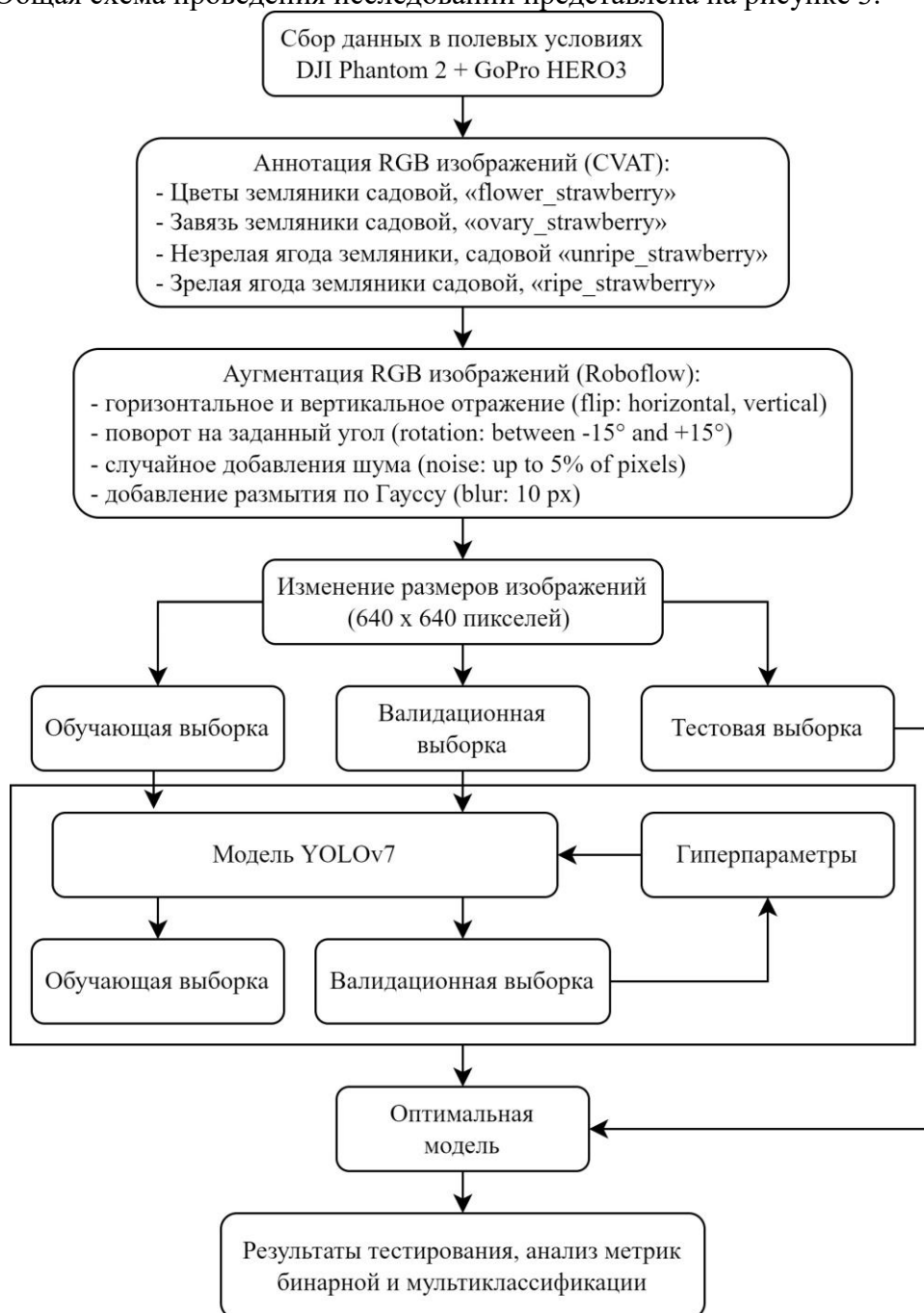


Рисунок 3 – Общая схема проведения исследований

Для обучения нейронной сети и проведения исследований использована компьютерная система, оснащённая процессором Intel Core i9-10900X с 10 ядрами и 20 виртуальными потоками. Для ускорения процесса обучения использованы две видеокарты NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti, способных обрабатывать большой объем данных параллельно. Материнская плата GIGABYTE X299 UD4 Pro была использована для обеспечения высокой производительности системы. Для хранения данных, ускорения процесса загрузки данных использован накопитель SSD Intel PCI-E 1Tb 660P. Объем оперативной памяти системы составлял 32GB, использованы модули Kingston DDR4 DIMM.

Результаты и их обсуждение

Проведено обучение модели YOLOv7. Результаты распознавания заданных классов на изображениях представлены на рисунке 4.



Рисунок 4 – Результаты распознавания заданных классов на изображениях

На графике Precision-Recall (рисунок 5) представлена полученная зависимость точности и полноты при изменении порога (мера сходства между объектом и классами). Построенная кривая позволяет оценить качество классификации изображений с помощью модели YOLOv7 в зависимости от выбранного порога.

Анализ графика Precision-Recall позволил определить оптимальный порог классификации 0,58, который обеспечивает наилучшее соотношение между точностью и полнотой для заданных классов.

Для оценки достоверности прогнозов модели и их соответствия фактическим значениям классов были построены Precision-Confidence и Recall-Confidence кривые (рисунок 6 а, 6 б). Precision-Confidence кривая позволила оценить точность предсказаний модели в зависимости от уверенности, с которой она делает свои предсказания, тогда как Recall-Confidence кривая позволила оценить полноту

предсказаний модели для положительного класса при различных значениях уверенности.

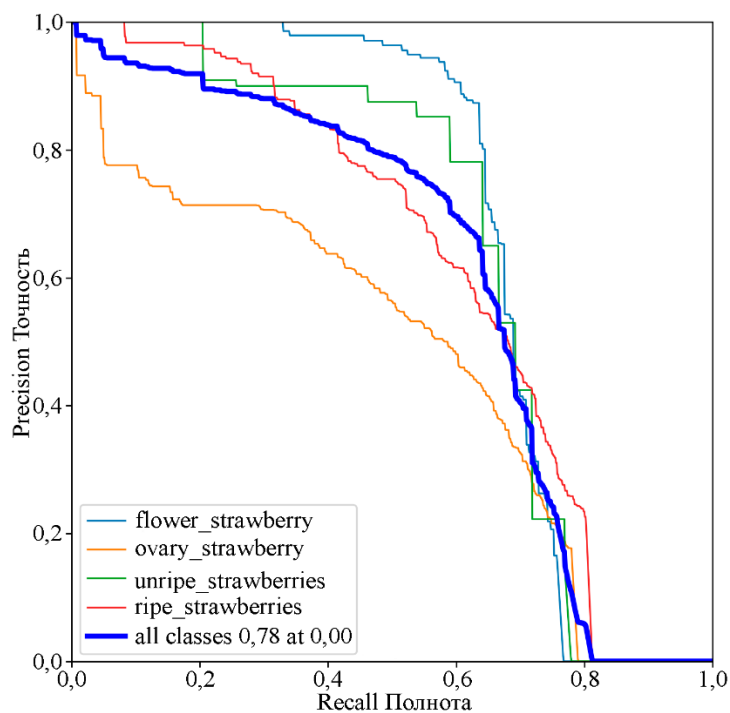
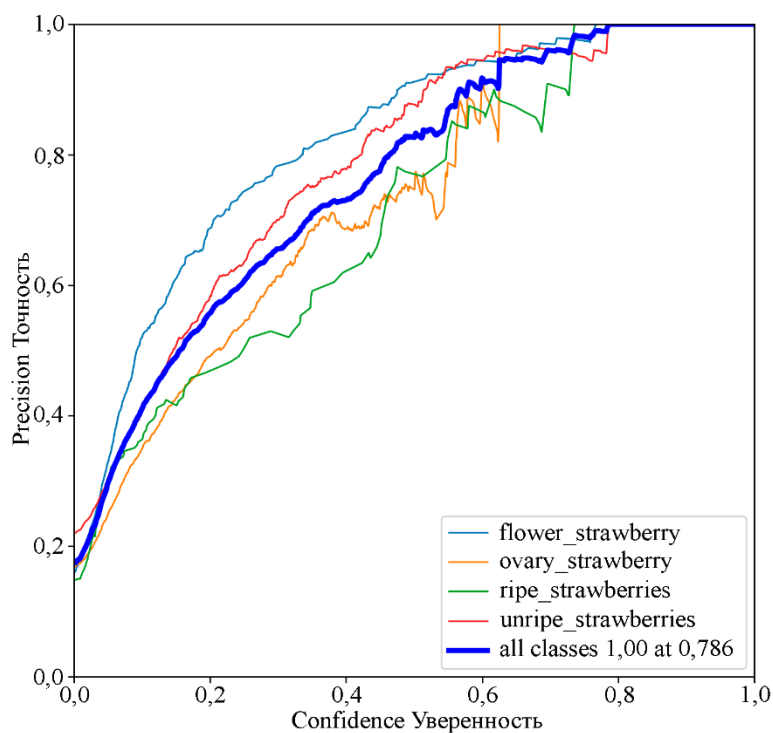
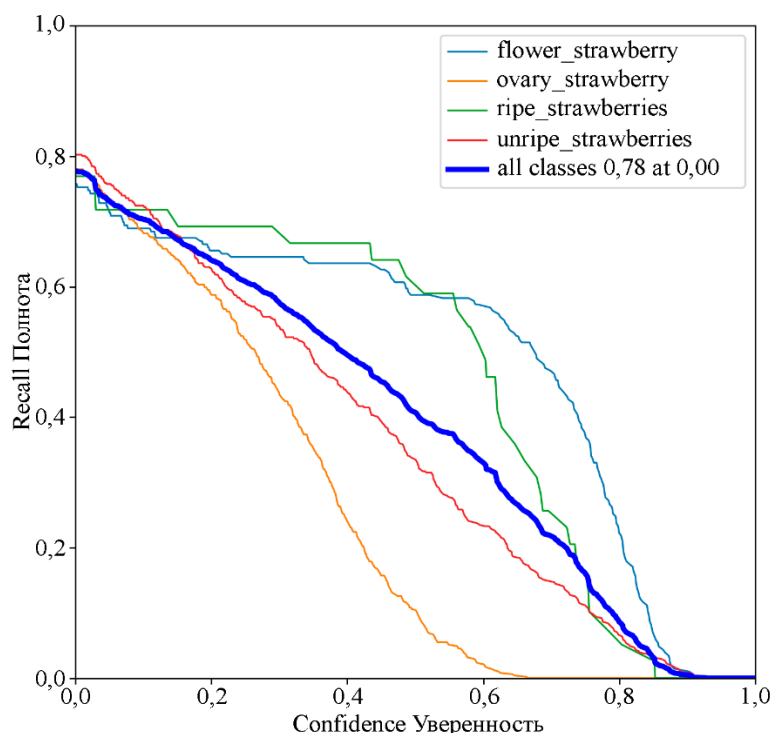


Рисунок 5 – Кривая оценки точности и полноты Precision-Recall



а



б

Рисунок 6 – Кривые оценки уверенности предсказаний модели и определения их соответствия истинным значениям классов

Построенная кривая F1-score-Confidence позволила оценить влияние изменения уровня уверенности модели на метрики точности и полноты, а также выбрать оптимальный порог для классификации с уровнем 0,54 (рисунок 7). Полученный график позволил оценить чувствительность модели, реакцию на наличие «шума» на изображениях.

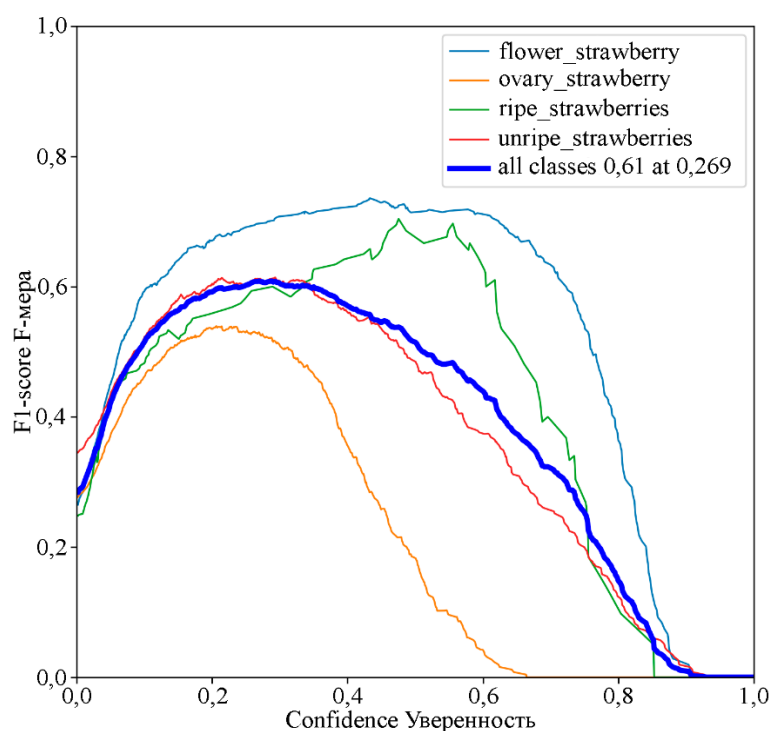


Рисунок 7– Кривые метрики F1-score-Confidence

Результаты расчета метрик при распознавании индивидуальных классов и по всем классам в среднем (мультиклассовая классификация, Multi-Class Classification) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов метрик бинарной и мультиклассовой классификации

| Классификатор | Precision (точность) | Recall (полнота) | mAP@0,5 | F-score (F-мера) |
|--|----------------------|------------------|---------|------------------|
| Цветы земляники садовой / «flower_strawberry» | 0,757 | 0,646 | 0,679 | 0,685 |
| Завязь земляники садовой / «ovary_strawberry» | 0,574 | 0,492 | 0,47 | 0,512 |
| Незрелая ягода земляники садовой / «unripe_strawberry» | 0,669 | 0,564 | 0,612 | 0,593 |
| Зрелая ягода земляники садовой / «ripe_strawberry» | 0,523 | 0,692 | 0,64 | 0,544 |
| Average (все классы) | 0,631 | 0,598 | 0,6 | 0,583 |

Анализ кривых Precision-Epoch, Recall-Epoch, mAP-Epoch позволил определить количество эпох (52), когда модель достигает наилучшего сочетания точности и полноты, запятая и выбрать гиперпараметры для достижения наилучшей производительности модели и максимальной точности детектирования заданных классов, выделения областей на изображениях (рисунок 8). Общее время обучения модели YOLOv7 при использовании GPU составило 4 ч 15 мин 24 сек.

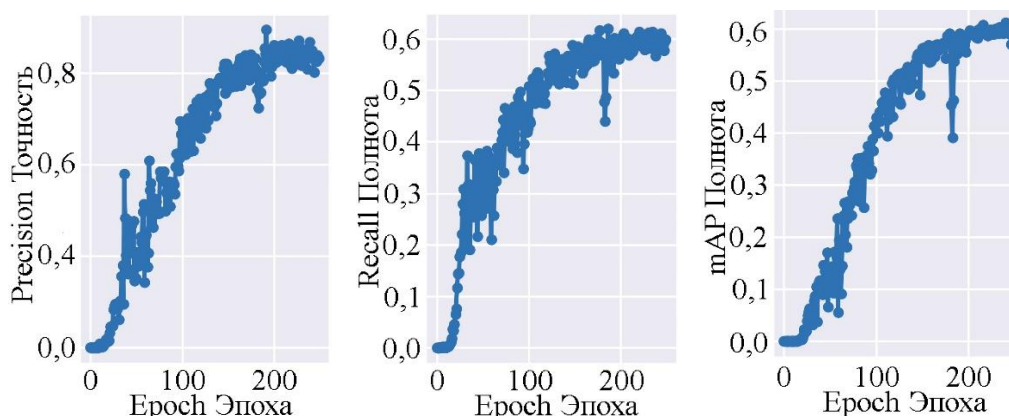


Рисунок 8 – Графики зависимости метрик Precision, Recall и mAP от эпохи обучения модели YOLOv7

Проведен анализ средней абсолютной процентной ошибки (MAPE, Mean Absolute Percentage Error) обученной модели YOLOv7 при распознавании всех заданных классов растений земляники садовой на изображениях тестового набора данных. Результаты расчетов средней абсолютной процентной ошибки модели нейронной сети YOLOv7 представлены в таблице 3.

Анализ полученных результатов показал, что средняя абсолютная процентная ошибка распознавания изображений тестовой выборки всех классов составила 8,1 %. Наиболее сложным для распознавания оказался класс «ovary_strawberry» – завязь земляники садовой, средняя абсолютная процентная ошибка которого составила 13 %.

Для оценки возможности мониторинга предлагаемым методом циклов роста и динамики развития растений земляники садовой проведен анализ изображений рядов в различные периоды времени. В таблице 4 представлены результаты сравнения количества распознанных объектов по классам, которые были подсчитаны

визуальным методом экспертами-агрономами и с помощью обученной модели сверточной нейронной сети YOLOv7 в результате проведенного распознавания генеративных частей, анализа и классификации данных в период с 25.05.2022 по 05.06.2022.

Таблица 3 – Результаты расчетов средней абсолютной процентной ошибки модели нейронной сети YOLOv7

| Классификатор | Количество изображений тестовой выборки, шт. | Количество изображений верно классифицированных с помощью обученной модели YOLOv7, шт. | Средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Percentage Error, MAPE), % |
|--|--|--|---|
| Цветы земляники садовой / «flower_strawberry» | 600 | 569 | 5,2 |
| Завязь земляники садовой / «ovary_strawberry» | | 522 | 13,0 |
| Незрелая ягода земляники садовой / «unripe_strawberry» | | 553 | 7,8 |
| Зрелая ягода земляники садовой / «ripe_strawberry» | | 562 | 6,3 |
| Average (все классы в среднем) | | 551 | 8,1 |

Таблица 4 – Результаты проведения полевых исследований по распознаванию генеративных частей земляники садовой предлагаемым методом

| Дата сбора данных | Класс | Подсчет экспертами-агрономами (визуальный метод), шт. | Подсчет с помощью обученной модели YOLOv7, шт. | Средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Percentage Error, MAPE), % |
|---------------------------|--|---|--|---|
| 25.05.2022 | Цветы земляники садовой / «flower_strawberry» | 1880 | 1757 | 6,5 |
| | Завязь земляники садовой / «ovary_strawberry» | 987 | 842 | 14,7 |
| | Незрелая ягода земляники садовой / «unripe_strawberry» | 412 | 374 | 9,2 |
| | Зрелая ягода земляники садовой / «ripe_strawberry» | 47 | 44 | 6,4 |
| Всего распознано объектов | Все классы | 831,5 | 754,2 | 9,2 |
| 05.06.2022 | Цветы земляники садовой / «flower_strawberry» | 1345 | 1245 | 7,4 |
| | Завязь земляники садовой / «ovary_strawberry» | 1467 | 1238 | 15,6 |
| | Незрелая ягода земляники садовой / «unripe_strawberry» | 786 | 698 | 11,2 |
| | Зрелая ягода земляники садовой / «ripe_strawberry» | 324 | 301 | 7,1 |
| Всего распознано объектов | Все классы | 980,5 | 870,5 | 10,3 |

Средняя точность подсчета по всем классам при использовании модели YOLOv7 в сравнении с подсчетом экспертами-агрономами составила 90,2 %. Анализ проведенных полевых исследований показал, что с уменьшением количества цветов в рядах садовых насаждений наблюдается увеличение ложноотрицательных результатов распознавания модели. Это объясняется тем, что при уменьшении количества цветов наблюдается увеличение количества завязей, незрелых и зрелых плодов, а также меняется количество и размер листьев, что приводит в свою очередь к увеличению зон перекрытия объектов, в результате чего затрудняется их распознавание, в конечном итоге приводя к ошибкам в подсчете.

В результате проведенных исследований разработан метод распознавания генеративных частей земляники садовой с применением алгоритмов машинного обучения. Для обеспечения необходимой точности распознавания определены минимальные требования к сверточной нейронной сети. Сбор набора изображений генеративных частей земляники садовой должен быть проведен путем фотографирования их в рядах насаждений RGB камерой, разрешение изображений должно составлять не менее 1920×1080 пикселей. Расстояние до объекта съемки должно находиться в диапазоне от 1,0 до 2,5 м. Освещение при сборе данных должно быть в диапазоне от 50000 лк до 150000 лк. Тренировочный набор данных должен включать в себя не менее 2000 изображений, в том числе изображения, полученные путем применения операции аугментации. Для качественной работы модели метрика mAP оценки общего качества работы алгоритма по всем классам объектов должна быть не менее 0,5.

Для распознавания генеративных частей земляники садовой других сортов в дальнейших исследованиях планируется использование метода инкрементного обучения (incremental learning), позволяющего проводить автоматическое дообучение ранее обученной модели на новом наборе данных в процессе её работы в режиме реального времени. Метод позволит модели постепенно обучаться на новых данных, сохраняя уже полученные знания и адаптируясь к новым условиям.

Выводы

Анализ результатов исследований показал, что распознавание генеративных частей земляники садовой на промышленной плантации, проведенное с использованием квадрокоптера DJI Phantom 2 с подвесом DJI Zenmuse Gimbal с камерой GoPro HD HERO3 с применением для обработки полученных данных свёрточной нейронной сети YOLOv7, позволит вести количественный учет цветков, завязей, незрелых и зрелых ягод со средней точностью 90,2 % при высоте полета не более 2 м.

Анализ полученных графиков, метрик бинарной и мультиклассовой классификации по оценке качества работы обученной модели нейронной сети YOLOv7 позволил установить оптимальные параметры настройки, выбрать порог уверенности, на котором модель показывает оптимальную точность и полноту, сбалансированную с количеством распознанных объектов. Определены конфигурации (гиперпараметры) алгоритма машинного обучения модели для распознавания заданных классов земляники садовой: скорость обучения (learning rate) – 0,01 LR (learning rate), количество эпох (epochs) – 250, размер мини-пакета (batch size) – 16.

Искусственное увеличение объема обучающей выборки (изображений генеративных частей земляники), использование таких инструментов как горизонтальное и вертикальное отражение, поворот на заданный угол, случайное добавления шума и добавление размытия по Гауссу позволило повысить качество

обучения модели сверточной нейронной сети YOLOv7 и адаптировать систему к реальным условиям.

В дальнейших исследованиях рекомендуется применение стереокамер высокого разрешения, что позволит дополнительно повысить точность распознавания благодаря возможности определения размерных параметров плодов земляники садовой и построения 3D-моделей карт высотности с помощью фотограмметрии. Регулярный цифровой мониторинг с применением методов машинного обучения и цифровых камер позволит автоматически формировать задания для наземной техники или беспилотных летательных аппаратов, принимать оптимальные управленческие решения в режиме реального времени при возделывании земляники садовой. Использование полученных в полевых условиях данных по каждому компоненту продуктивности растений и коэффициентов соотношений между ними позволит определять потенциальную и фактическую урожайность, а также осуществлять управление этой урожайностью, руководствуясь биологической продуктивностью различных сортов земляники садовой.

Литература

1. Марченко Л. А. Продуктивность земляники садовой и селекционные возможности ее повышения // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. №51(3). С. 65–74. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-3-7.
2. Chiomento J. L.T., Lima Junior E. P., D'Agostini M., De Nardi F.S., Trentin Th. dos S., Dornelles G. A., Huzar-Novakowski J., Calvete E.O. Horticultural potential of nine strawberry cultivars by greenhouse production in Brazil: a view through multivariate analysis // Scientia Horticulturae. 2021. Vol. 279. Art. No. 109738. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109738.
3. Massa G. D., Chase E., Santini J. B., Mitchell C. A. Temperature affects long-term productivity and quality attributes of day-neutral strawberry for a space life-support system // Life Sciences in Space Research. 2015. Vol. 5. P. 39–46. DOI: 10.1016/j.lssr.2015.04.003.
4. Лапшин В. И. Результаты оценки отборных форм земляники по урожаю и качеству ягод // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2019. № 23. С. 80–83. DOI: 10.30679/2587-9847-2019-23-80-83.
5. Махмарасулов С. С., Енилеев Н. Ш., Султонов К. С. Морфо-биологические и продуктивные особенности сортов земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch. ex Weston) // Аграрная наука. 2020. №1. С. 67–70. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-334-1-67-7.
6. Марченко Л. А. Земляника садовая: оценка отечественного сортимента и направления селекции // Аграрный вестник Урала. 2020. № 12 (203). С. 50–60. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-50-60.
7. Khort D., Kutyrev A., Smirnov I., Osypenko V., Kiktev N. Computer vision system for recognizing the coordinates location and ripeness of strawberries // Communications in Computer and Information Science. 2020. No. 1158. P.334–343. DOI: 10.1007/978-3-030-61656-4_22.
8. Zhou H., Ou J., Meng P., Tong J., Ye H., Li Z. Research on kiwi fruit flower recognition for efficient pollination based on an improved YOLOv5 algorithm // Horticulturae. 2023. No. 9. Art. No. 400. DOI: 10.3390/horticulturae9030400.
9. Хорт Д. О., Кутырев А. И., Смирнов И. Г., Филиппов Р. А., Вершинин Р. В. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. Т. 67. № 1(38). С. 133–141. DOI: 10.22314/2658-4859-2020-67-1-133-141.
10. Zheng C., Abd-Elrahman A., Whitaker V. Remote sensing and machine learning in crop phenotyping and management, with an emphasis on applications in strawberry farming // Remote Sens. 2021. No.13. Art. No. 531. DOI: 10.32417/10.3390/rs13030531.
11. Zheng H., Cheng T., Zhou M., Li D., Yao X., Tian Y., Cao, W., Zhu Y. Improved estimation of rice aboveground biomass combining textural and spectral analysis of UAV imagery // Precis. Agric. 2019. No. 20. P. 611–629. DOI: 10.1007/s11119-018-9600-7.
12. Xie C., Yang C. A review on plant high-throughput phenotyping traits using UAV-based sensors // Comput. Electron. Agric. 2020. No.178. Art. No. 105731. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105731.
13. Guan Z., Abd-Elrahman A., Fan Z., Whitaker V.M., Wilkinson B. Modeling strawberry biomass and leaf area using object-based analysis of high-resolution images // ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 2020. No. 163. 171–186. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.02.021.

14. Behmann J., Mahlein A. K., Rumpf T., Römer C., Plümer L. A review of advanced machine learning methods for the detection of biotic stress in precision crop protection // *Precis. Agric.* 2015. No. 16. P. 239–260. DOI: 10.1007/s11119-014-9372-7.
15. Andrejko E., Valley S. Deep Learning in Agriculture // *Comput. Electron. Agric.* 2018. No.147. P. 70–90.
16. Sa I., Ge Z., Dayoub F., Upcroft B., Perez T., McCool C. DeepFruits: a fruit detection system using deep neural networks // *Sensors.* 2016. No.16. Art. No. 1222. DOI: 10.3390/s16081222.
17. Maxwell A. E., Warner T. A., Guillén L. A. Accuracy assessment in convolutional neural network based deep learning remote sensing studies – Part 1: literature review // *Remote Sensing.* 2021. No. 13(13). Art. No. 2450. DOI: 10.3390/rs13132450.
18. Maxwell A. E., Warner T. A., Guillén L. A. Accuracy assessment in convolutional neural networkbased deep learning remote sensing studies – Part 2: recommendations and best practices // *Remote Sensing.* 2021. No. 13(13). Art. No. 2591. DOI: 10.3390/rs13132591.

References

1. Marchenko L. A. Productivity of garden strawberry and breeding possibilities to improve it // *Siberian Herald of Agricultural Science.* 2021. No. 51(3). P. 65–74. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-3-7.
2. Chiomento J. L.T., Lima Junior E. P., D'Agostini M., De Nardi F. S., Trentin Th. dos S., Dornelles G. A., Huzar-Novakowski J., Calvete E. O. Horticultural potential of nine strawberry cultivars by greenhouse production in Brazil: a view through multivariate analysis // *Scientia Horticulturae.* 2021. Vol. 279. Art. No. 109738. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109738.
3. Massa G. D., Chase E., Santini J. B., Mitchell C. A. Temperature affects long-term productivity and quality attributes of day-neutral strawberry for a space life-support system // *Life Sciences in Space Research.* 2015. Vol. 5. P. 39–46. DOI: 10.1016/j.lssr.2015.04.003.
4. Lapshin V. I. Results of assessing the strawberry selected forms on the yield and quality of berries // *Scientific works of North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making.* 2019. No. 23. P. 80–83. DOI: 10.30679/2587-9847-2019-23-80-83.
5. Makhmarasulov S. S., Enileev N. Sh., Sulonov K. S. Morpho-biological and productive features of strawberry varieties (*Fragaria* × *ananassa* Duch. ex Weston) // *Agrarian science.* 2020. No. 1. P.67–70. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-334-1-67-70.
6. Marchenko L. A. Strawberry: evolution of the domestic assortment and direction of selection // *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2020. No. 12(203). P. 50–60. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-50-60.
7. Khort D., Kuttyrev A., Smirnov I., Osypenko V., Kiktev N. Computer vision system for recognizing the coordinates location and ripeness of strawberries // *Communications in Computer and Information Science.* 2020. No. 1158. P. 334–343. DOI: 10.1007/978-3-030-61656-4_22.
8. Zhou H., Ou J., Meng P., Tong J., Ye H., Li Z. Research on kiwi fruit flower recognition for efficient pollination based on an improved YOLOv5 algorithm // *Horticulturae.* 2023. No. 9. Art. No. 400. DOI: 10.3390/horticulturae9030400.
9. Khort D. O., Kuttyrev A. I., Smirnov I. G., Filippov R. A., Vershinin R. V. Developing algorithms for a berry recognition system used in robotized harvesting of garden strawberry // *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture.* 2020. Vol. 67. No. 1(38). P. 133–141. DOI: 10.22314/2658-4859-2020-67-1-133-141.
10. Zheng C., Abd-Elrahman A., Whitaker V. Remote sensing and machine learning in crop phenotyping and management, with an emphasis on applications in strawberry farming // *Remote Sens.* 2021. No.13. Art. No. 531. DOI: 10.32417/ 10.3390/rs13030531.
11. Zheng H., Cheng T., Zhou M., Li D., Yao X., Tian Y., Cao W., Zhu Y. Improved estimation of rice aboveground biomass combining textural and spectral analysis of UAV imagery // *Precis. Agric.* 2019. No.20. P. 611–629. DOI: 10.1007/s11119-018-9600-7.
12. Xie C., Yang C. A review on plant high-throughput phenotyping traits using UAV-based sensors // *Comput. Electron. Agric.* 2020. No.178. Art. No. 105731. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105731.
13. Guan Z., Abd-Elrahman A., Fan Z., Whitaker V.M., Wilkinson B. Modeling strawberry biomass and leaf area using object-based analysis of high-resolution images // *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2020. No. 163. P. 171–186. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.02.021.
14. Behmann J., Mahlein A.K., Rumpf T., Römer C., Plümer L. A review of advanced machine learning methods for the detection of biotic stress in precision crop protection // *Precis. Agric.* 2015. No.16. P. 239–260. DOI: 10.1007/s11119-014-9372-7.
15. Andrejko E., Valley S. Deep Learning in Agriculture // *Comput. Electron. Agric.* 2018. No.147. P. 70–90.
16. Sa I., Ge Z., Dayoub F., Upcroft B., Perez T., McCool C. DeepFruits: a fruit detection system using deep neural networks // *Sensors.* 2016. No.16. Art. No. 1222. DOI: 10.3390/s16081222.

17. Maxwell A. E., Warner T. A., Guillén L. A. Accuracy assessment in convolutional neural network based deep learning remote sensing studies – Part 1: literature review // Remote Sensing. 2021. No. 13(13). Art. No. 2450. DOI: 10.3390/rs13132450.

18. Maxwell A. E., Warner T. A., Guillén L. A. Accuracy assessment in convolutional neural network-based deep learning remote sensing studies – Part 2: recommendations and best practices // Remote Sensing. 2021. No.13(13). Art. No. 2591. DOI: 10.3390/rs13132591.

UDC 631.171.004.3:004.932

Kutyrev A. I., Filippov R. A.

RECOGNITION OF GENERATIVE PARTS OF *FRAGARIA* × *ANANASSA* USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)

Summary. *The article proposes a method for collecting, analyzing and classifying data for recognition of generative parts of Fragaria × ananassa using convolutional neural network (CNN). Transfer learning of the YOLOv7 convolutional neural network model was carried out on a data set with the allocation of four classes of development of generative formations. The research was carried out in 2022. As a result, a set of images (dataset) of flowers, ovaries, unripe and ripe berries was formed. To ensure the balance of classes in the data set used, the oversampling method was applied: new examples (images) based on existing data were created; these images were created by applying horizontal and vertical reflection, rotation by a given angle, random noise addition and Gaussian blur. To collect the data set, DJI Phantom 2 quadcopter with DJI Zenmuse Gimbal for GoPro HD HERO3 camera was used. To assess the quality of the YOLOv7 model when recognizing specified classes, well-known metrics Precision, Recall, AP (average precision) and F-score were used. An evaluation of the recognition indicators of both individual classes and for all classes on average was carried out. The analysis of the results showed that the mean absolute percentage error (MAPE) of image recognition of the test sample of all classes was 8.1 %. “Ovary strawberry” class was the most difficult to recognize; (MAPE reached the level of 13 %). The average accuracy of the calculation for all classes using the YOLOv7 model in comparison with the calculation by expert agronomists was 90.2 %. The use of data obtained in the field for each component of plant productivity and the coefficients of the ratios between them will allow determining the potential and actual yield, as well as to manage this yield depending on the biological productivity of various strawberry cultivars.*

Keywords: *convolutional neural network, transfer learning, data classification, recognition, Fragaria × ananassa.*

Кутырёв Алексей Игоревич, заведующий лабораторией интеллектуальных цифровых систем мониторинга, диагностики и управления процессами в сельскохозяйственном производстве, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»; 109428, Россия, Москва, 1-й Институтский проезд, 5; e-mail: alexeykutyrev@gmail.com.

Филиппов Ростислав Александрович, ведущий научный сотрудник лаборатории машинных технологий для возделывания и уборки плодово-ягодных культур ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»; 109428, Россия, Москва, 1-й Институтский проезд, 5; e-mail: rostislav-filippov@yandex.ru.

Kutyrev Aleksey Igorevich, senior researcher, head of the Laboratory of intelligent digital systems for monitoring, diagnostics and process management in agricultural production, FSBSI “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”; 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia; e-mail: alexeykutyrev@gmail.com.

Filippov Rostislav Aleksandrovich, leading researcher of the Laboratory of machine technologies for cultivation and harvesting of fruit and berry crops, FSBSI “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”; 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia; e-mail: rostislav-filippov@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 21.04.2023.

Дата принятия к печати – 21.05.2023.

EDN KRXQFE

DOI 10.5281/zenodo.8271998

УДК 631.452:631.84:633.2

Свечников А. К., Козлова Л. М.

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В СЕВООБОРОТАХ С МНОГОЛЕТНИМИ ТРАВАМИ

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

Реферат. На данный момент актуальны вопросы оптимизации агрофитоценозов и внесения удобрений, что обусловлено ухудшением состояния почв и снижением количества гумуса. Цель исследований – оценить влияние насыщенности севооборотов многолетними травами на содержание гумуса в почве с учетом анализа отечественной и зарубежной научной литературы. В условиях Республики Марий Эл в 2001–2018 гг. проведен полевой опыт в трех травянозерновых севооборотах с разной долей в структуре травосмеси из клевера, люцерны и тимофеевки: $1/6$, $1/3$ и $1/2$ (фактор А). Внесение минеральных удобрений проводили в дозах $N_{90}P_{90}K_{90}$ ($P_{90}K_{90}$ в третьей ротации) и $N_{60}P_{60}K_{60}$ (фактор В). Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая, содержание гумуса по Тюрину – 1,82 %, общего азота по Кьельдалю – 0,15 %, фосфора по Кирсанову – 840 мг/кг, калия по Кирсанову – 200 мг/кг (2001 г.). При внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ в течение 18 лет содержание гумуса увеличилось в слое почвы 0–20 см в среднем на $0,49 \pm 0,03$ % (в 1,29 раза или на $0,027 \pm 0,005$ % в год). При снижении доз фосфорно-калийных удобрений без внесения азотных, потеря гумуса за третью ротацию составила в среднем $0,17 \pm 0,08$ %. В третью ротацию без внесения азотных удобрений установлено, что с увеличением доли многолетних трав на $1/6$, потери гумуса снижались в среднем с 0,27 % на 0,08 % или с 0,045 % на 0,13 % в год. Согласно данным других исследователей, опубликованных за последние 10 лет, насыщение севооборотов многолетними травами способствовало повышению содержания гумуса в почве в 84,6 % экспериментов (до 0,075 % в год). Минеральные удобрения способствовали росту величины этого показателя до 0,075 % в год (в 82,4 % исследований).

Ключевые слова: бобово-злаковые травосмеси, азот, удобрения, насыщенность, НРК.

Для цитирования: Свечников А. К., Козлова Л. М. Динамика содержания гумуса в севооборотах с многолетними травами // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 87–101. EDN: KRXQFE. DOI 10.5281/zenodo.8271998.

For citation: Svechnikov A. K., Kozlova L. M. Dynamics of humus content in crop rotations with perennial grasses // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 87–101. EDN: KRXQFE. DOI 10.5281/zenodo.8271998.

Введение

Урожайность культур в значительной мере зависит от содержания в почве гумуса [1]. Дерново-подзолистые почвы Евро-Северо-Востока России ежегодно теряют до 0,5–1,9 т/га гумуса. За последние два десятилетия в Удмуртской Республике потери составили 0,4–0,9 %, Республике Марий Эл – 0,13 %, Костромской области – свыше 0,2 % [2].

Насыщение кормовых севооборотов однолетними культурами уменьшает в почве пористость, накопление азота и долю органического углерода [3] – главных составных элементов гумуса. Показана четырёхкратная потеря гумуса (слой почвы 0–

40 см) при насыщении севооборотов пропашными культурами – с 25 % до 75 %. Только благодаря увеличению доли многолетних бобовых трав (клевер) до 40 % и отсутствию пропашных культур в данных агрофитоценозах установился положительный баланс органического вещества [4].

Положительный углеродный баланс (0,6–0,8 т/га) только благодаря возделыванию бобово-злаковых травосмесей в севообороте наблюдался даже на плодородных почвах, причём в первом году укосного возделывания многолетних трав [5, 6]. Многие исследователи считают, что выращивание клевера в смеси с различными злаковыми травами эквивалентно внесению в почву навоза с высоким содержанием питательных веществ [7, 8].

Стоит отметить, что некоторые преимущества многолетних травосмесей на основе клевера красного в кормовом севообороте в условиях Республики Марий Эл по динамике содержания гумуса в почве ранее нами упоминались [9]. Полученные результаты нуждались в дальнейшем анализе и сопоставлении с результатами современных публикаций (Россия и зарубежные страны) схожей тематики за последние 10 лет.

Цель исследований – оценить влияние насыщенности севооборотов многолетними травами на содержание гумуса в почве с учетом анализа отечественной и зарубежной научной литературы.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2001–2018 гг. в полевом стационарном опыте Марийского научно-исследовательского института – филиала ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», заложенном в 2001 г. Изучали два фактора: насыщенность севооборотов многолетними травами (фактор А) и внесение азотных удобрений (фактор В). Опыт заложен в четырех повторностях с систематическим расположением делянок. Севообороты кормовые, травянозерновые шестипольные с посевом поукосных промежуточных культур. В четырёх из шести полей ($2/3$) в качестве основной культуры возделывали однолетние или многолетние травосмеси на основе бобовых. Согласно схеме опыта долю многолетних трав $1/6$ имел контрольный севооборот, или $C_{1/6}$ (викоовсяная смесь с подсевом клевера, люцерны и тимофеевки; многолетние травы первого года пользования; озимая рожь, горчица поукосно; яровой ячмень; викоовсяная смесь, горчица поукосно; смесь из вики, овса и подсолнечника); долю $1/3$ – севооборот $C_{1/3}$ (викоовсяная смесь с подсевом клевера, люцерны и тимофеевки; многолетние травы первого года пользования; озимая рожь, горчица поукосно; яровой ячмень; викоовсяная смесь, горчица поукосно); долю $1/2$ – севооборот $C_{1/2}$ (викоовсяная смесь с подсевом клевера, люцерны и тимофеевки; многолетние травы первого года пользования; многолетние травы второго года пользования; многолетние травы третьего года пользования; озимая рожь, горчица поукосно; яровой ячмень).

На фуражное зерно возделывали яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L., сорт Владимир), остальные культуры – на зелёную массу (посевная вика яровая (*Vicia sativa* L., Вера), овёс яровой (*Avena sativa* L., Буланный), рожь озимая (*Secale cereale* L., Татьяна), клевер луговой (*Trifolium pratense* L., Мартум), люцерна изменчивая (*Medicago varia* Mart., Лада), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L., Вик 85), горчица белая (*Sinapis alba* L., Белянка) и подсолнечник (*Helianthus annuus* L., Скороспелый 87)).

Нормы высева (в млн шт. всхожих семян/га): овёс (2) + вика (1) + клевер (1) + люцерна (1) + тимофеевка (1); озимая рожь (4); горчица (4); ячмень (3); вика (1) + овёс (3); вика (1) + овёс (3) + подсолнечник (0,02).

На опытном участке весной ежегодно вносили фосфорно-калийные удобрения ($P_{60}K_{60}$) и удобрения в виде аммиачной селитры (фактор В) – N_0 и N_{60} . Азот под многолетние бобово-злаковые травы не вносили. Так как структура севооборотов отличалась долей многолетних трав, фактические дозы внесения в почву азота в среднем за третью ротацию составили $C_{1/6}$ 50 кг/га действующего вещества, $C_{1/3}$ – 40 кг/га, а $C_{1/2}$ – 30 кг/га. В первые две ротации в варианте N_0 дозы внесения были в полтора раза выше, чем в варианте N_{60} ($N_{90}P_{90}K_{90}$). Фактические дозы для варианта N_{60} в среднем за три ротации (2001–2018 гг.) были следующие: $P_{80}K_{80}$, по минеральному азоту 25, 30 и 22,5 кг/га действующего вещества соответственно для севооборотов $C_{1/6}$, $C_{1/3}$ и $C_{1/2}$.

Почва – среднесуглинистая дерново-подзолистая. По основным агрохимическим показателям в год закладки опыта можно считать, что почва достаточно плодородная для условий Республики Марий Эл. Содержание гумуса по Тюрину в слое 0–20 см составляло 1,82 %, общего азота по Кьельдалю – 0,15 %, фосфора по Кирсанову – 840 мг/кг, калия по Кирсанову – 200 мг/кг. Гидролитическая кислотность среды – 23 мг-экв./кг, pH_{KCl} – 5,25 единиц.

Опрыскивание вегетирующих растений средствами химической и биологической защиты не проводили. Семена однолетних и двулетних культур протравливали рекомендуемыми дозами фунгицида «Максим», КС, а ярового ячменя – «Дивиденд Стар», КС. Семена многолетних трав агрохимическими средствами не обрабатывали.

Содержание гумуса (слой почвы 0–20 см) определяли весной при закладке опыта (2001 г.), в конце второй (2012 г.) и третьей (2018 г.) ротации севооборотов по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–84), другие агрохимические свойства – по ГОСТ 13496 (общий азот), ГОСТ 26207–84 (обменного калия и подвижного фосфора), ГОСТ 26483–85 (pH солевой вытяжки) и ГОСТ 26212–84 (гидролитическая кислотность). Для статистического анализа данных с уровнем значимости 5 % и методики проведения полевого опыта использовали «Методику полевого опыта» Доспехова Б. А. [10] и Microsoft Office Excel 2013ю

Для обзора русскоязычной литературы были использованы индексированные в системе РИНЦ (elibrary.ru) публикации за последние 10 лет в поисковой системе yandex.ru, для зарубежной – за последние шесть лет на основе следующего запроса в интернет-портале google.com: “rotation” and (“perennial legume” or “perennial grass” or “alfalfa” or “clover” or “trefoil” or “melilot” or “timothy” or “rump”) and (“organic carbon” or “organic c” or “total c” or “SOC” or “humus”) and DOI.

Содержание гумуса в почве по данным англоязычных статей определяли через переводной коэффициент 1,724 к органическому углероду, который указан в методике Тюрина (ГОСТ 26213–84). В исследованиях, где показатели органического углерода не приведены, но указаны его запасы в почве, а также слой изучаемой почвы и её плотность, использовали формулу (1):

$$H = \frac{1,724 \times M}{h \times \rho}, \quad (1)$$

где H – содержание гумуса в почве, %; M – запасы углерода в почве, т/га; h – слой исследуемой почвы, см; ρ – плотность почвы, г/см³.

Результаты и их обсуждение

Систематическое внесение минеральных удобрений с начала закладки опыта позволило повысить содержание гумуса в слое почвы 0–20 см в шестипольных травянозерновых кормовых севооборотах к началу третьей ротации в среднем на 0,47 ± 0,03 % (на четверть от исходного значения) или 0,039 % в год (таблица 1). При этом ни один из севооборотов не имел существенных преимуществ по концентрации

изучаемого вещества (его показатели составляли в среднем $2,31 \pm 0,03$ %). За первые две ротации различия между вариантами появились благодаря внесению разного количества NPK. Содержание гумуса в почве на начало третьей ротации севооборотов при варианте N_0 было выше, чем при N_{60} на 0,10 % ($HCP_{05}(B) = 0,05$ %).

Таблица 1 – Содержание гумуса в слое почвы 0–20 см, %

| Вариант | | 2012 г | 2018 г. | Изменение за 2012–2018 гг. | |
|-----------------------------|----------|-----------------|-----------------|----------------------------|--------------------|
| | | | | общее | за год |
| $C_{1/6}$ | N_0 | $2,38 \pm 0,08$ | $2,08 \pm 0,19$ | $-0,30 \pm 0,23$ | $-0,050 \pm 0,038$ |
| | N_{60} | $2,29 \pm 0,06$ | $2,43 \pm 0,14$ | $+0,14 \pm 0,14$ | $+0,023 \pm 0,023$ |
| | Среднее | $2,34 \pm 0,06$ | $2,26 \pm 0,18$ | $-0,08 \pm 0,23$ | $-0,013 \pm 0,038$ |
| $C_{1/3}$ | N_0 | $2,34 \pm 0,15$ | $2,23 \pm 0,19$ | $-0,11 \pm 0,15$ | $-0,018 \pm 0,025$ |
| | N_{60} | $2,23 \pm 0,01$ | $2,41 \pm 0,08$ | $+0,18 \pm 0,07$ | $+0,030 \pm 0,012$ |
| | Среднее | $2,29 \pm 0,07$ | $2,35 \pm 0,11$ | $+0,04 \pm 0,15$ | $+0,007 \pm 0,025$ |
| $C_{1/2}$ | N_0 | $2,36 \pm 0,18$ | $2,21 \pm 0,08$ | $-0,15 \pm 0,13$ | $-0,025 \pm 0,022$ |
| | N_{60} | $2,28 \pm 0,08$ | $2,46 \pm 0,11$ | $+0,14 \pm 0,10$ | $+0,023 \pm 0,017$ |
| | Среднее | $2,32 \pm 0,07$ | $2,31 \pm 0,12$ | $-0,01 \pm 0,16$ | $-0,002 \pm 0,027$ |
| Среднее | N_0 | $2,36 \pm 0,05$ | $2,17 \pm 0,07$ | $-0,17 \pm 0,08$ | $-0,028 \pm 0,013$ |
| | N_{60} | $2,26 \pm 0,02$ | $2,43 \pm 0,03$ | $+0,17 \pm 0,03$ | $+0,028 \pm 0,005$ |
| | Среднее | $2,31 \pm 0,03$ | $2,30 \pm 0,07$ | $-0,01 \pm 0,09$ | $-0,002 \pm 0,015$ |
| HCP ₀₅ вариантов | | 0,09 | 0,13 | 0,13 | 0,021 |
| HCP ₀₅ (A) | | $H_0:d = 0$ | | 0,10 | 0,160 |
| HCP ₀₅ (B) | | 0,05 | 0,07 | 0,08 | 0,013 |
| HCP ₀₅ (AB) | | $H_0:d = 0$ | | | |

При неизменной системе внесения удобрений (N_{60}) в течение изучаемой ротации (2012–2018 гг.) также происходило повышение содержания гумуса, но в меньшей степени ($HCP_{05} = 0,13$ %). Этот рост показывал в среднем 0,14–0,18 % (0,023–0,030 % ежегодно). По массовой доле гумуса определить лучший вариант при схеме внесения N_{60} к 2018 г. не позволил HCP_{05} (0,13 %). В итоге, во всех изученных севооборотах при внесении N_{60} в течение 18 лет увеличилось содержание гумуса в слое почвы 0–20 см с 1,82 % в среднем на $0,49 \pm 0,08$ % (в 1,29 раза или на $0,027 \pm 0,005$ % в год). В 2018 г. содержание гумуса в вариантах с внесением азота (N_{60}) было повышенным, по сравнению с N_0 , как в каждом из севооборотов на 0,18–0,35 % ($HCP_{05} = 0,13$ %), так и в среднем по изученным севооборотам на 0,26 % ($HCP_{05}(B) = 0,07$ %).

В результате исключения азотных удобрений и снижения доз фосфорно-калийных до $R_{60}K_{60}$ в третьей ротации потеря гумуса в слое почвы 0–20 см изученных агрофитоценозов составила в среднем $0,17 \pm 0,08$ %. Длительность выращивания травосмеси из клевера, люцерны и тимофеевки определила главное преимущество севооборотов $C_{1/3}$ и $C_{1/2}$ по изменению содержания гумуса в слое почвы 0–20 см по сравнению с контролем. При этом максимальные потери вещества произошли в результате однолетнего пользования бобово-злаковой травосмеси ($C_{1/6}N_0$) – в среднем на $0,30 \pm 0,23$ % ($0,050 \pm 0,038$ % ежегодно). Продление вегетации многолетних трав до трёх-четырёх лет ($C_{1/3}N_0$ и $C_{1/2}N_0$) способствовало снижению потерь гумуса на 0,15–0,19 % (в 2,0–2,7 раза). Стоит отметить, что при увеличении срока возделывания с трёх ($C_{1/3}N_0$) до четырёх лет ($C_{1/2}N_0$) показатель в дальнейшем существенно не повышался ($HCP_{05} = 0,13$ %). Согласно Никончику П. И. [11], положительная динамика возрастания содержания гумуса с насыщением севооборотов многолетними травами может отсутствовать или даже стать отрицательной в зависимости от различных условий возделывания многолетних и бобовых трав в течение ротации. В итоге, по динамике содержания гумуса за 2012–2018 гг. почва севооборотов без внесения минерального азота (N_0) в слое 0–20

см стала уступать варианту с N₆₀ в среднем на 0,34 ± 0,09 %. Неизменный уровень внесения азотных удобрений под весенние обработки почвы способствовал увеличению органического вещества в почве агрофитоценозов в среднем на 0,17±0,03 %. Прямолинейная положительная взаимосвязь содержания гумуса с долей многолетних трав установлена только при исключении минерального азота (см. рисунок). По шкале Чеддока данная связь характеризуется как «заметная» (коэффициент детерминации составляет 43,7 ± 40,0 %). Согласно рисунку, с увеличением доли многолетних бобово-злаковых трав на 1/6 потери гумуса снижались в среднем с 0,27 % на 0,08 % или с 0,045 % на 0,013 % в год. При доле многолетних трав 1/2 эта потеря достигала 0,11 % или 0,018 % в год. Однако превышение НСР₀₅ (0,395 %) проявлялось только за пределами опыта (при разнице в насыщенности многолетних трав свыше 79,7 %).

Представленная закономерность указывает на необходимость внесения минерального азота в севооборотах для повышения содержания гумуса в почве, особенно при высокой доле одно- и двухлетних кормовых культур.

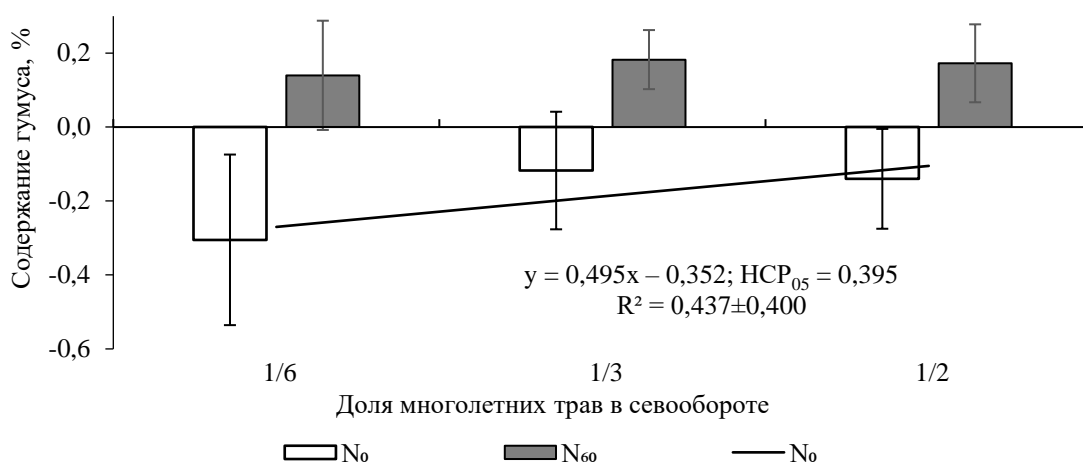


Рисунок – Изменение содержания гумуса в слое почвы 0–20 см (2012–2018 гг.)

В нашем опыте и большинстве изученных публикаций насыщение севооборотов многолетними бобовыми и бобово-злаковыми травами повышало содержание гумуса в почве несущественно или мало в сравнении с внесением удобрений (таблица 2). Изучение результатов опытов, проведённых многими исследователями, показало, что увеличение содержания гумуса в почве, прежде всего, фиксировалось в случаях внесения органических удобрений. Рост доли этого вещества от применения навоза (не менее 5 т/га в год) или сидератов (более 3,5 т/га в год) в опытах превосходил использование минеральных удобрений на 0,044–0,190 % в год, а насыщение многолетними травами – на 0,035–0,136 % в год. Применение торфо-навозного компоста в Институте агроботехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН после 41 года [12] не дало такой безусловной эффективности – при дозе 13,3 т/га в год не появились преимущества ни перед неудобренным контролем, ни перед внесением минеральных удобрений. Лишь при двукратном увеличении доз данный вид удобрений превосходил минеральные с 0,005–0,0012 % в год на 0,015–0,22 % в год (в 2–5 раз).

Стоит отметить, что в некоторых условиях для увеличения содержания гумуса в севооборотах с многолетними травами дозы органических удобрений могут быть недостаточными. Так, в Шведском сельскохозяйственном университете [42] при одном или двух полях клеверо-овсянико-тимофеечной травосмеси в шестипольном севообороте с однократным внесением 40 т/га навоза за 54 года содержание гумуса

снизилась на 0,47–0,58 %. При трёх-пятилетнем использовании многолетних трав и двукратном внесении 30 т/га навоза, напротив, увеличилось на 0,34–1,38 %.

Таблица 2 – Влияние насыщенности севооборотов многолетними травами и доз внесения удобрений на содержание гумуса в почве в различных странах зарубежья и регионах России (на основе публикаций, 2013–2023 гг.)

| Место изучения | Доля многолетних трав, % | Внесение удобрений | Слой почвы, см | Срок, лет | Содержание гумуса, % |
|---|--|---|----------------|-----------|----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Владимирская область [13] ¹ | 40 | без удобрений | 0–20 | 5 | + 0,01 |
| | | P ₃₅ K ₄₅ | | | + 0,09 |
| | | N ₄₀ P ₃₅ K ₄₅ | | | – 0,05 |
| | | N ₈₀ P ₆₀ K ₉₀ | | | + 0,04 |
| Волгоградская область [14] ¹ | 33,3 | без удобрений | 0–25 | 12 | – 0,28 |
| | | N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | | | + 0,08 |
| Воронежская область [15] ¹ | 17 | без удобрений | 0–20 | 6 | – 0,20 |
| | 25 | | | 8 | – 0,13 |
| | 10 | N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | | 11 | + 0,04 |
| | 20 | | | + 0,07 | |
| Воронежская область [16] ¹ | 37,5 | без удобрений | 0–30 | 7 | + 0,35 |
| Ивановская область [17] ¹ | 40, 60 | без удобрений | 0–20 | 12 | + 0,01 |
| | | N _{7,5-9} P _{7,5-9} K _{7,5-9} | | | + 0,04 |
| | | N ₁₅₋₁₈ P ₁₅₋₁₈ K ₁₅₋₁₈ | | | + 0,17 |
| Иркутская область [18] ¹ | 40 | без удобрений | 0–20 | 5 | + 0,60 |
| Кировская область [19] ¹ | 50 | N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ | 0–20 | 8 | – 0,02 |
| Краснодарский край [20] ¹ | 0 | без удобрений | 0–20 | 8 | – 0,66 |
| | 25 | | | | – 0,13 |
| Омская область [21] ¹ | 50 | без удобрений | 0–20 | 18 | – 0,01 |
| | | N ₁₀ P ₁₇ | | | + 0,20 |
| | | N ₁₅ P ₂₃ | | | + 0,25 |
| Пермский край [22] ¹ | 25 | без удобрений | 0–20 | 40 | – 0,42 |
| | | N ₆₀₋₁₅₀ | | | + 0,00 |
| Псковская область [23] ¹ | 28,6 | без удобрений | 0–20 | 30 | – 0,35 |
| | | N ₅₆ P ₇₆ K ₈₉ | | | + 0,12 |
| Республика Коми [12] ¹ | 33,3 | без удобрений | 0–20 | 41 | + 0,50 |
| | | N ₁₇ P ₁₀ K ₄₅ | | | 0,012+ 0,50 |
| | | N ₂₃ P ₁₆ K ₆₇ | | | + 0,40 |
| | | N ₄₇ P ₃₁ K ₁₃₅ | | | 0,005+ 0,20 |
| | | 13,3 т/га ТНК | | | + 0,30 |
| | | 13,3 т/га ТНК, N ₄₇ P ₃₁ K ₁₃₅ | | | + 0,90 |
| | | 26,7 т/га ТНК | | | 0,027+ 1,10 |
| 26,7 т/га ТНК, N ₄₇ P ₃₁ K ₁₃₅ | + 0,90 | | | | |
| Республика Марий Эл [24] ¹ | 16,7 | N ₀₋₅₀ P ₀₋₆₀ K ₀₋₆₀ | 0–20 | 19 | – 0,14 |
| | | 13,3 т/га навоза | | | + 0,44 |
| | N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀ , 13,3 т/га навоза | + 0,41 | | | |
| | без удобрений | – 0,03 | | | |
| Республика Татарстан [25] ¹ | 37,5 | N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀ | 0–20 | 8 | + 0,01 |
| | | НРК (травы 20 т/га, зерно 3-4 т/га) * | | | + 0,14 |
| Республика Татарстан [26] ¹ | 37,5 | без удобрений | 0–30 | 17 | + 0,08 |
| | | НРК (зерно 4 т/га) * | | | + 0,83 |
| | | навоз 7 т/га, НРК (зерно 4 т/га) * | | | + 1,24 |

Продолжение таблицы 2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
|---|--------|---|------|--------|-------------|--------|
| Ростовская область [27,28] ¹ | 40 | без удобрений | 0–20 | 13 | – 0,09 | |
| | | 5 т/га навоза, N ₄₆ P ₂₄ K ₃₀ | | | + 0,07 | |
| | | 8 т/га навоза, N ₈₄ P ₃₀ K ₄₈ | | | + 0,31 | |
| Свердловская область [29] ¹ | 16,7 | без удобрений | 0–20 | 6 | + 0,00 | |
| | 33,3 | N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | | | + 0,05 | |
| | | без удобрений | | | + 0,04 | |
| | | N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | | + 0,03 | | |
| Тамбовская область [30] ¹ | 20 | без удобрений | 0–20 | 10 | + 0,40 | |
| Тверская область [31] ¹ | 25 | 7 т/га навоза, NPK (зерно 3-4 т/га) * | 0–20 | 7 | + 0,43–0,62 | |
| Удмуртская Республика [32] ¹ | 25 | без удобрений | 0–20 | 8 | – 0,23 | |
| | | N ₈₁ P ₈₀ K ₁₀₂ | | | – 0,15 | |
| Республика Беларусь, Минская область [11] ¹ | 25 | N _{77,5} P _{86,25} K ₁₂₅ | 0–20 | 26 | + 0,01 | |
| | | 11,2 т/га навоза, N _{77,5} P _{86,25} K ₁₂₅ | | | + 0,20 | |
| | 33,3 | N _{64,(4)} P _{86,25} K _{73,(3)} | | | + 0,04 | |
| | | 11,2 т/га навоза, N _{64,(4)} P _{86,25} K _{73,(3)} | | | + 0,24 | |
| | 33,3 | без удобрений | | | 30 | – 0,04 |
| | 66,7 | | | | | – 0,05 |
| | 83,3 | | | | | – 0,06 |
| 100 | – 0,07 | | | | | |
| Херсонская область [33] ¹ | 33,3 | без удобрений | 0–30 | 12 | + 0,37–0,43 | |
| | 50 | | | | + 0,42–0,52 | |
| Великобритания [34] ² | 60 | N ₂₅ | 0–25 | 69 | + 0,45–0,50 | |
| | 55 | | | | + 0,52–0,55 | |
| | 52 | | | | + 0,69–0,78 | |
| Германия, Республика Бавария [35] ² | 50–75 | 26-31 т/га дигестата | 0–30 | 8 | + 0,34–0,36 | |
| Дания [36] ² | 31 | N ₁₉₋₁₁₈ (навозная жижа) | 0–20 | 32 | + 0,31 | |
| | 69 | | | | + 0,53 | |
| Канада, провинция Онтарио [37] ² | 50 | без удобрений | 0–10 | 58 | – 0,85 | |
| | | N _{8,4} P _{14,7} K _{13,9} | | | – 0,33 | |
| | 100 | без удобрений | | | + 3,52 | |
| | | N ₁₇ P ₂₉ K ₂₈ | | + 5,47 | | |
| Китай, провинция Шенси [38] ³ | 50 | N _{63,5} P ₆₂ | 0–15 | 30 | + 0,82 | |
| Польша, Люблинское воеводство [39] ¹ | 25 | P ₂₄ K ₉₆ | 0–25 | 35 | – 0,02 | |
| | | N ₁₀₀ P ₂₄ K ₉₆ | | | + 0,02 | |
| | | N ₁₅₀ P ₂₄ K ₉₆ | | | + 0,00 | |
| США, штат Висконсин [40, 41] ² | 33,3 | N ₅₂ P _{14,7} K ₁₂₈ | 0–15 | 26 | – 0,46 | |
| | 50 | N ₄₇ P ₁₅ K ₁₃₀ | | | – 0,05 | |
| Швеция, лен Вестерноррланд [42] ² | 83,3 | 10 т/га навоза | 0–25 | 54 | + 1,38 | |
| | 50 | | | | + 0,34 | |
| | 33,3 | 6,7 т/га навоза | | | – 0,47 | |
| | 16,7 | | | | – 0,58 | |
| Швеция, лен Эрберу [43] ² | 50 | без удобрений | 0–10 | 35 | + 0,64 | |
| | | N ₁₅ | | | + 0,91 | |
| Уругвай, департамент Трейнта-и-Трес [44] ^{2,3} | 60 | N ₃₉ P ₃₆ K ₁₈ | 0–15 | 8 | + 0,33 | |

Примечания: ¹ – гумус определен по методу Тюрина; ² – гумус вычислен с помощью коэффициента 1,724 к органическому углероду, определенному по методу сухого сжигания Дюма; ³ – гумус вычислен с помощью формулы (1) в разделе «Материалы и методы исследований», где органический углерод определен по методу сухого сжигания Дюма. ТНК – торфо-навозный компост. * – внесено NPK по дозе из расчета на указанную планируемую урожайность.

Влияние минеральных удобрений в севооборотах с многолетними травами на содержание гумуса в почве изучалось чаще всего. Их положительный эффект на агрохимический показатель фиксировался в 13 из 16 представленных публикаций. В некоторых исследованиях повышение доз минеральных удобрений (особенно при увеличении насыщенности агрофитоценозов многолетними травами) снижало эффективность увеличения содержания гумуса в почве. В пользу внесения азотных удобрений, как и в нашем опыте, свидетельствуют многие публикации. Внесение только минерального азота даже в дозе 60–150 кг/га действующего вещества под небобовые культуры (зерновые) в Пермском крае (на 0,011 % в год) [22] и Швеции (на 0,008 % в год) [43] благоприятствовали значительному повышению накопления гумуса в почве. Положительная динамика по агрохимическому показателю фиксировалась также в Китае (на 0,027 % в год) [38] и Уругвае (на 0,041 % в год) [44], где изучаемые факторы (удобрения и доля многолетних трав в севообороте) не были оцениваемы. Внесение минерального азота под многолетние травы на основе бобовых культур зачастую становится нецелесообразным как в нижеперечисленных публикациях.

Внесение только фосфорно-калийных удобрений, в отличие от данных нашего опыта, также могут повышать содержание гумуса. Так, во Владимирской области (ВНИИОУ) [13] применение только фосфорно-калийных удобрений ($P_{35}K_{45}$) в зернотравяном севообороте с 40 % насыщением клеверо-тимофеечной травосмесью за пять лет увеличило показатель на 0,09 %. Включение азота (N_{40}), напротив, снизило его на 0,05 %, что меньше, чем в вариантах без удобрений, в которых был близкий к нулю рост гумуса в почве (на 0,01 % за пять лет). Это произошло потому, что данный элемент вносили как под многолетние бобово-злаковые травы, так и под другие культуры. Увеличение их доз в два раза ($N_{80}P_{60}K_{90}$) привело к положительным изменениям в содержании изучаемого вещества, но, тем не менее, на 0,05 % уступало варианту только с фосфорно-калийными удобрениями. В аналогичном опыте польских учёных [39], где структура севооборотов насыщена всего на 25 % многолетними травами, за 35 лет небольшая отрицательная динамика (на 0,02 %) прослежена только в результате повышения уровня внесения с $N_{100}P_{24}K_{96}$ до $N_{150}P_{24}K_{96}$.

В Республике Коми увеличение доз NPK также снижало их эффективность по образованию гумуса в длительном опыте (41 год) в шестипольном плодосменном севообороте с двумя полями клеверо-тимофеечной травосмеси [12]. Повышение доз NPK с нуля и $N_{17}P_{10}K_{45}$ до $N_{47}P_{31}K_{135}$ снизило содержание гумуса в почве с 0,50 % на 0,30 %, так как азотные удобрения почти равномерно распределили и под бобово-злаковые смеси, и под картофель.

В Уральском НИИСХ [29] ежегодное внесение $N_{30}P_{30}K_{30}$ повысило содержание гумуса на 0,05 % за шесть лет по сравнению с вариантом без удобрений, только в севообороте с 16,7 % долей многолетних трав. При 33,3 % доле применение минерального азота не показало эффективности.

В одном из длительных опытов (19 лет) [24] применение рекомендуемых в Республике Марий Эл доз NPK незначительно (на 0,04 %) улучшило динамические изменения гумуса в почве в шестипольном севообороте с двумя полями клеверо-люцерно-тимофеечной смеси. Однолетнее использование многолетних трав значительно (в среднем на 0,14 %) снизило содержание гумуса в пахотном слое независимо от нормы внесения минеральных удобрений. Азотные удобрения под многолетние травы не вносили, поэтому их влияние в опыте не выявлено.

Насыщение агрофитоценозов многолетними бобовыми и бобово-злаковыми травосмесями способствовало росту содержания гумуса в пахотном слое почвы в 10 из 12 публикаций. Наибольшим этот рост (без удобрений на 4,73 %, или 0,075 % в

год, и при внесении очень низких доз NPK на 5,80 %, или 0,10 % в год) был зафиксирован в 58-летнем опыте Канады при увеличении доли люцерны в структуре четырёхпольного севооборота с 50 % до 100 % [37]. В России же наилучшие результаты получены во ВНИИ риса в Краснодарском крае в рисовых севооборотах без внесения удобрений [20]. В трёх российских исследованиях [16, 18, 30], где севообороты с долей многолетних трав 20–40 % не сравнивали по изучаемым факторам (удобрения и доля многолетних трав), также отмечена положительная (0,040–0,120 % в год) динамика содержания гумуса в пахотном слое почвы. Насыщение севооборотов до 25 % люцерной за восемь лет снизило убыль гумуса в почве на 0,53 % или 0,066 % ежегодно. В некоторых случаях (в Ивановском НИИСХ [17] и Мюнхенском техническом университете в Германии [35]) доля многолетних трав в агрофитоценозах не оказывала существенного влияния на агрохимический показатель. Сопоставимое (0,048–0,073 % в год) уменьшение снижения изучаемого вещества в нашем опыте наблюдалось только при увеличении внесения азотных удобрений с N₀ до N₆₀.

На дерново-подзолистой почве Республики Беларусь [11] отмечали разнонаправленную динамику содержания гумуса в почве относительно количества многолетних трав в структуре севооборотов. За 26 лет только при внесении удобрений (минеральных или органоминеральных) насыщение агрофитоценозов многолетними травами с четверти до трети улучшало показатель гумуса на 0,03–0,04 %. Увеличение доли этих культур с трети до единицы при естественном режиме питания в течение 30 лет несущественно снижало содержание гумуса в почве (в среднем 0,01 % на каждую треть насыщения).

Выводы

При изучении данных опыта в Марийском НИИСХ – филиале ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока и других исследователей, опубликованных за последние 10 лет, установлено, что насыщение севооборотов многолетними травами способствовало повышению содержания гумуса в почве в 84,6 % изученных исследований (до 0,075 % в год). Минеральные удобрения увеличивали показатель до 0,075 % в год (в 82,4 % исследований). Важным условием их безусловной эффективности (100 % исследований, рост содержания гумуса в почве – 0,008–0,075 % в год) являлось обязательное применение азотных удобрений только под те поля севооборота, где не использовались многолетние бобовые культуры и их смеси. Наибольший эффект повышения содержания гумуса достигался при внесении навоза не менее 5 т/га в год или сидератов более 3,5 т/га в год, что позволяло превосходить минеральные удобрения ещё на 0,044–0,190 % в год (во всех изученных исследованиях).

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0091).

Автор выражает благодарность за научное руководство при исполнении Государственного задания в 2001–2017 гг. В.М. Измestьеву, к. с.-х. наук, Заслуженному деятелю науки Республики Марий Эл.

Литература

1. Халин А. В., Бакиров Ф. Г., Нестеренко Ю. М., Поляков Д. Г. Оценка влияния культур и звеньев севооборотов на количество органического вещества, поступающего в почву с растительными остатками, на черноземах южных Оренбургской области // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2016. № 1. С. 17. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2016-1/Articles/HAV-2016-1.pdf> (дата обращения: 01.03.2023).

2. Козлова Л. М., Рубцова Н. Е., Соболева Н. Н. Трансформация органического вещества агродерново-подзолистых почв Евро-Северо-Востока // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. Т. 6. № 49. С. 47–53.
3. Zhou Z., Palmborg C., Ericson L., Dryler K., Lindgren K., Bergkvist G., Parsons D. A 60-years old field experiment demonstrates the benefit of leys in the crop rotation // Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science. 2019. Vol. 69. No. 1. P. 36–42. DOI: 10.1080/09064710.2018.1492010.
4. Мудрых Н. М., Самофалова И. А. Опыт использования растительных остатков в почвах Нечернозёмной зоны России (обзор) // Пермский аграрный вестник. 2017. Т. 1. № 17. С. 88–97.
5. Ebertseder T., Engels C., Heyn J., Reinhold J., Brock C., Fürstenfeld F., Hülsbergen K.J., Isermann K., Kolbe H., Leithold G., Schmid H., Schweitzer K., Willms M., Zimmer J., Humusbilanzierung. Eine methode zur analyse und bewertung der humusversorgung von ackerland. Speyer, Germany: VDLUFA, 2014. 21 p.
6. Weißhuhn P., Reckling M., Stachow U., Wiggering H. Supporting agricultural ecosystem services through the integration of perennial polycultures into crop rotations // Sustainability. 2017. Vol. 9. No. 12. Art. No. 2267. DOI: 10.3390/su9122267.
7. Löftjönen S., Ollikainen M. Does crop rotation with legumes provide an efficient means to reduce nutrient loads and GHG emissions? // Rev Agric Food Environ Stud. 2017. Vol. 98. No. 4. P. 283–312. DOI: 10.1007/s41130-018-0063-z.
8. Lehtonen H., Niskanen O. Promoting clover-grass: implications for agricultural land use in Finland // Land Use Policy. 2016. Vol. 59. P. 310–319. DOI: 10.1016/j.landusepol.2016.09.005.
9. Свечников А. К. Преимущества травянозерновых севооборотов от продления срока использования клеверо-люцерно-тимофеечной смеси // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 6. С. 752–763. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.752-763.
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 p.
11. Никончик П. И. Севооборот, структура посевов и баланс гумуса в почве // Земледелие и защита растений. 2016. Т. 1 (106). С. 3–7.
12. Чеботарев Н. Т., Шергина Н. Н., Броварова О. В., Тулинов А. Г. Действие комплексного применения удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, продуктивность и качество кормовых культур в условиях Европейского Севера // Агрохимический вестник. 2020. № 6. С. 23–27. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10080.
13. Марчук Е. В. Взаимодействие удобрений и биологического азота в севооборотах на легких дерново-подзолистых почвах // Агрохимический вестник. 2013. № 4. С. 29–31.
14. Мелихова Н. П., Зибаров А. А., Тегесов Д. С., Севостьянова Г. М. Севооборот – важное средство сохранения плодородия и повышения продуктивности орошаемых агроландшафтов // Известия НВ АУК. 2019. Т. 4 (56). С. 92–99. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-12.
15. Турусов В. И., Абанина О. А., Богатых О. А. Изменение показателей почвенного плодородия при формировании севооборотов в адаптивном земледелии юго-востока ЦЧЗ // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 2. С. 48–53. DOI: 10.26178/AE.2019.33.90.013.
16. Дедов А. А., Несмеянова М. А., Дедов А. В. Влияние приемов биологизации земледелия и способов обработки почвы на содержание органического вещества в черноземе типичном и продуктивность севооборотов // Агрохимия. 2017. № 9. С. 25–32. DOI: 10.7868/S0002188117090022.
17. Шрамко Н. В., Вихорева Г. В. Роль биологизированных севооборотов в изменении содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах Верхневолжья // Земледелие. 2016. № 1. Р. 14–16.
18. Козлова З. В., Матаис Л. Н., Глушкова О. А. Влияние эспарцета на плодородие почвы и агроэкономические показатели кормовых севооборотов в условиях Восточной Сибири // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. 2020. Т. 23 (71). С. 67–72. DOI: 10.33814/МАК-2020-23-71-67-72.
19. Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А. Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20. № 5. С. 467–477. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477.
20. Парашенко В. Н., Осипов А. В., Слюсарев В. Н., Чижиков В. Н., Швыдка Я. А. Влияние посевов люцерны на плодородие перегнойно-глеевой почвы при возделывании риса // Рисоводство. 2018. Т. 4 (41). С. 38–40.
21. Храпцов И. Ф., Чекусов М. С., Воронкова Н. А., Балабанова Н. Ф., Волкова В. А. Агроэкологическая оценка длительного применения удобрений на черноземных почвах Западной Сибири // Плодородие. 2021. Т. 3 (120). С. 104–107. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.20.
22. Широких И. Г., Косолапова А. И., Широких А. А., Завьялова Н.Е. Микробная трансформация органического вещества дерново-подзолистой почвы Предуралья при различном

использовании и внесении минеральных удобрений // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 102–110. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-1-102-110.

23. Федотова Е. Н., Рысев М.Н., Волкова Е.С., Кусткова Т.А. Влияние длительного применения удобрений в севообороте со льном-долгунцом на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность севооборота // Известия Великолукской ГСХА. 2016. № 4. С. 8–18.

24. Замятин С. А., Максимова Р. Б., Ефимова А. Ю., Максуткин С. А. Гумусовое состояние дерново-подзолистой почвы длительного стационарного опыта в Республике Марий Эл // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. Т. 8 (98). С. 192–196. DOI: 10.23670/IRJ.2020.98.8.029.

25. Ахметзянов М. Р., Таланов И. П. Эффективность полевых севооборотов при различных уровнях интенсификации и биологизации земледелия // Вестник Казанского ГАУ. 2019. Т. 14. № S4-1 (55). С. 10–14. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-10-14.

26. Шакиров Р. С., Бикмухаметов З. М., Хисамиев Ф. Ф. Ресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур в экологически сбалансированной системе земледелия // Вестник Казанского ГАУ. 2017. Т. 12. № 4 (46). С. 54–60. DOI: 10.12737/article_5a5f067e35f239.84017453.

27. Гаевая Э. А. Изменение содержания гумуса в севооборотах расположенных на эрозионно-опасных склонах Ростовской области // Сборник статей по материалам III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2019. С. 85–90.

28. Гаевая Э. А., Безуглова О. С., Нежинская Е. Н. Агрофизические свойства чернозема обыкновенного слабоэродированного в длительном опыте в Ростовской области // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1399–1414. DOI: 10.31857/S0032180X22110053.

29. Постников П. А. Сохранение плодородия почвы через биологизацию земледелия // АПК России. 2017. Т. 24. № 5. С. 1128–1133.

30. Скорочкин Ю. П., Воронцов В. А., Макаров М. Р., Ерофеев С. А. Агротехнологические аспекты регулирования плодородия чернозёмов Тамбовской области // Инновации в сельском хозяйстве. 2018. Т. 4 (29). С. 207–215.

31. Митрофанов Ю. И., Пугачева Л. В., Карасева О. В., Пантелеева Т. Н. Влияние приемов обработки почвы на динамику гумуса в полевом севообороте на осушаемых землях // Материалы Международной научно-практической конференции ФГБНУ ВНИИМЗ «Эффективное использование мелиорированных земель: проблемы и решения». Тверь: Тверской государственный университет, 2018. С. 72–77.

32. Дзюин А. Г., Дзюин Г. П. Исследование плодородия почвы и продуктивности восьмипольного севооборота в многолетнем опыте // Агрехимия. 2018. № 2. С. 22–23. DOI: 10.7868/S0002188118020023.

33. Коваленко А. М. Оптимизация создания смешанных агроценозов в севооборотах на орошаемых землях степи Украины и их влияние на плодородие почвы // Материалы междунар. науч. экологическая конф. «Совмещенные посевы полевых культур в севообороте агроландшафта». Краснодар: Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина, 2016. С. 178–182.

34. Johnston A. E., Poulton P. R., Coleman K., Macdonald A. J., White R. P. Changes in soil organic matter over 70 years in continuous arable and ley–arable rotations on a sandy loam soil in England // European Journal of Soil Science. 2017. Vol. 68. No. 3. P. 305–316. DOI: 10.1111/ejss.12415.

35. Levin K. S., Auerswald K., Reents H. J., Hülsbergen K.-J. Effects of organic energy crop rotations and fertilisation with the liquid digestate phase on organic carbon in the topsoil // Agronomy. 2021. Vol. 11. No. 7. Art. No. 1393. DOI: 10.3390/agronomy11071393.

36. Jensen J. L., Beucher A. M., Eriksen J. Soil organic C and N stock changes in grass-clover leys: effect of grassland proportion and organic fertilizer // Geoderma. 2022. Vol. 424. Art. No. 116022. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116022.

37. Miller J. J., Owen J. J., Yang X. M., Drury C. F., Reynolds W. D., Chanasyk D.S. Long-term cropping and fertilization influences soil organic carbon, soil water repellency, and soil hydrophobicity // Can. J. Soil. Sci. 2020. Vol. 100. No. 3. P. 234–244. DOI: 10.1139/cjss-2019-0129.

38. Fu X., Wang J., Sainju U., Liu W. Soil carbon fractions in response to long-term crop rotations in the Loess Plateau of China // Soil Science Society of America Journal. 2017. Vol. 81. No. 3. P. 503–513. DOI: 10.2136/sssaj2016.04.0122.

39. Piłkuła D., Rutkowska A. Selected chemical properties of sandy soil after 36 years of differential fertilization with mineral nitrogen and manure without liming in two crop rotation // Soil Sci. Ann. 2020. Vol. 71. No. 3. P. 246–251. DOI: 10.37501/soilsa/128687.

40. WICST 1st report. Madison: University of Wisconsin, Center for Integrated Agricultural Systems, 1991. 130 p.
41. Potter T. S., Vereecke L., Lankau R. A., Sanford G. R., Silva E. M., Ruark M. D. Long-term management drives divergence in soil microbial biomass, richness, and composition among upper Midwest, USA cropping systems // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2022. Vol. 325. Art. No. 107718. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107718.
42. Jarvis N., Forkman J., Koestel J., Kätterer T., Larsbo M., Taylor A. Long-term effects of grass-clover leys on the structure of a silt loam soil in a cold climate // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2017. Vol. 247. P. 319–328. DOI: 10.1016/j.agee.2017.06.042.
43. Börjesson G., Bolinder M.A., Kirchmann H., Kätterer T. Organic carbon stocks in topsoil and subsoil in long-term ley and cereal monoculture rotations // *Biol Fertil Soils*. 2018. Vol. 54. No. 4. P. 549–558. DOI: 10.1007/s00374-018-1281-x.
44. Macedo I., Roel A., Ayala W., Pravia M., Terra J., Pittelkow C. Irrigated rice rotations affect yield and soil organic carbon sequestration in temperate South America // *Agronomy Journal*. 2022. P. Vol. 114. Iss. 2. P. 961-975. DOI: 10.1002/agj2.20964.

References

1. Khalin A. V., Bakirov F.G., Nesterenko Yu. M., Polyakov D. G. Assessment of cultures and links crop rotations on organic matter enters the soil with plant residues on southern chernozems in Orenburg region // *Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2016. No. 1. P. 17. [Electronic resource]. Access point: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2016-1/Articles/HAV-2016-1.pdf> (references date 01.03.2023).
2. Kozlova L. M., Rubtsova N. E., Soboleva N. N. Transformation of organic matter of sod-podzolic soils in Euro-North-East // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015. Vol. 6. No. 49. P. 47–53.
3. Zhou Z., Palmberg C., Ericson L., Dryler K., Lindgren K., Bergkvist G., Parsons D. A 60-years old field experiment demonstrates the benefit of leys in the crop rotation // *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*. 2019. Vol. 69. No. 1. P. 36–42. DOI: 10.1080/09064710.2018.1492010.
4. Mudrykh N. M., Samofalova I. A. On to the experience of the usage of plant residues in soils of Non-Black Soil zone of Russia (review) // *Perm Agrarian Journal*. 2017. Vol. 1. No. 17. P. 88–97.
5. Ebertseder T., Engels C., Heyn J., Reinhold J., Brock C., Fürstenfeld F., Hülsbergen K. J., Isermann K., Kolbe H., Leithold G., Schmid H., Schweitzer K., Willms M., Zimmer J., Humusbilanzierung. Eine methode zur analyse und bewertung der humusversorgung von ackerland. Speyer, Germany: VDLUFA, 2014. 21 p.
6. Weißhuhn P., Reckling M., Stachow U., Wiggering H. Supporting agricultural ecosystem services through the integration of perennial polycultures into crop rotations // *Sustainability*. 2017. Vol. 9. No. 12. Art. No. 2267. DOI: 10.3390/su9122267.
7. Lötjönen S., Ollikainen M. Does crop rotation with legumes provide an efficient means to reduce nutrient loads and GHG emissions? // *Rev Agric Food Environ Stud*. 2017. Vol. 98. No. 4. P. 283–312. DOI: 10.1007/s41130-018-0063-z.
8. Lehtonen H., Niskanen O. Promoting clover-grass: implications for agricultural land use in Finland // *Land Use Policy*. 2016. Vol. 59. P. 310–319. DOI: 10.1016/j.landusepol.2016.09.005.
9. Svechnikov A. K. Advantages of grass-grain crop rotations due to prolonged use of clover-alfalfa-timothy mixture // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020. Vol. 21. No. 6. P. 752–763. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.752-763.
10. Dospekhov B. A. *Methods of field research*. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
11. Nikonchik P.I. Rotation, crops structure and humus balance in soil // *Agriculture and plant protection*. 2016. Vol. 1 (106). P. 3–7.
12. Chebotarev N. T., Shergina N. N., Brovarova O. V., Tulinov A. G. Effect of complex application of fertilizers on the fertility of soddy-podzolic soil, productivity and quality of forage crops in the European North // *Agrochemical Herald (Agrokhimicheskiy vestnik)*. 2020. No. 6. P. 23–27. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10080.
13. Marchuk E. V. Efficacy of combined application of organic and mineral fertilizers and biological nitrogen in crop rotations on light sod-podzolic soils // *Agrochemical Herald (Agrokhimicheskiy vestnik)*. 2013. No. 4. P. 29–31.
14. Melikhova N. P., Zibarov A. A., Tegesov D. S., Sevostyanova G. M. Crop rotation is an important means of preserving the fertility and productivity of irrigated agricultural lands // *Proc. of Lower Volga Agro-University Comp: Science and Higher Education*. 2019. Vol. 4 (56). P. 92–99. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-12.

15. Turusov V. I., Abanina O. A., Bogatykh O. A. Change of soil fertility during the formation of crop rotations in adaptive agriculture in the South-East of the Central-Chernozem zone // *Agrochemistry and Ecology Problems*. 2019. No. 2. P. 48–53. DOI: 10.26178/AE.2019.33.90.013.
16. Dedov A. A., Nesmeyanova M. A., Dedov A. V. Impact of biologization practices in agriculture and soil tillage on soil organic matter content and productivity of crop rotations in Typical Chernozem // *Agrohimia*. 2017. No. 9. P. 25–32. DOI: 10.7868/S0002188117090022.
17. Shramko N. V., Vikhoreva G. V. Role of biologized crop rotations in humus content change in sod-podzol soils of the Upper Volga Region // *Zemledelie*. 2016. No. 1. P. 14–16.
18. Kozlova Z. V., Matais L. N., Glushkova O. A. Influence of sainfoin on soil fertility and agro-economic indicators of fodder crop rotations under conditions of East Siberia // *Multifunctional adaptive feed production*. 2020. Vol. 23 (71). P. 67–72. DOI: 10.33814/MAK-2020-23-71-67-72.
19. Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A. Improvement of crop rotations aimed at increasing their efficiency and conserving soil fertility in conditions of biological intensification // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019. Vol. 20. No. 5. P. 467–477. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477.
20. Paraschenko V. N., Osipov A. V., Slyusarev V. N., Chizhikov V. N., Shvydkaya L. A. The effect of alfalfa crops on the fertility of humus-clay soil // *Rice Growing*. 2018. Vol. 4 (41). P. 38–40.
21. Khramtsov I.F., Chekusov M.S., Voronkova N.A., Balabanova N.F., Volkova V.A. Agroecological assessment of long-term fertilizers application on chernozem soil in Western Siberia // *Plodorodie*. 2021. Vol. 3 (120). P. 104–107. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.20.
22. Shirokikh I. G., Kosolapova A. I. Shirokikh A. A., Zavyalova N. E. Microbial transformation of organic matter of sod-podzolic soils in the Pre-Urals under conditions of different use and application of mineral fertilizers // *Theoretical and Applied Ecology*. 2019. No. 1. P. 102–110. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-1-102-110.
23. Fedotova E. N., Rysev M. N., Volkova E. S., Kustkova T. A. The effect of long-term use of fertilizers in crop rotation with flax on the fertility of sod-podzolic soil and crop rotation productivity // *Izvestiya of Velikiye Luki State Agricultural Academy*. 2016. No. 4. C. 8–18.
24. Zamyatin S. A., Maksimova R. B., Efimova A.Yu., Maksutkin S. A. Humus state of derno-podzolic soil during the long-term experiment in the Republic of Mari El // *International Research J*. 2020. Vol. 8 (98). P. 192–196. DOI: 10.23670/IRJ.2020.98.8.029.
25. Akhmetzyanov M. R., Talanov I. P. Efficiency of field crop rotations at different levels of intensification and biologization of agriculture // *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2019. Vol. 14. No. S4-1 (55). P. 10–14. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-10-14.
26. Shakirov R. S., Bikmukhametov Z. M., Khisamiev F. F. Resource-saving technologies of agricultural crops selection in the ecologically balanced system of agriculture // *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2017. Vol. 12. No. 4 (46). P. 54–60. DOI: 10.12737/article_5a5f067e35f239.84017453.
27. Gaevaia E. A. A change in the content of humus in crop rotation are located on erosion-prone slopes of the Rostov region // *Collection of articles based on the materials of the III All-Russian (national) Scientific and Practical Conference “Actual Problems of Ecology and Environmental Management”*. Kurgan: Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev, 2019. P. 85–90.
28. Gaevaya E. A., Bezuglova O. S., Nezhinskaya E. N. Agrophysical properties of ordinary slightly eroded chernozem in a long-term experiment in the Rostov region // *Pochvovedenie*. 2022. No. 11. P. 1399–1414. DOI: 10.31857/S0032180X22110053.
29. Postnikov P. A. Soil fertility preservation through agriculture biologization // *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2017. Vol. 24. No. 5. P. 1128–1133.
30. Skorochkin Yu. P., Vorontsov V. A., Makarov M. R., Erofeev S. A. Agrotechnological aspects of regulation of fertility of chernozem in Tambov region // *Innovations in Agriculture*. 2018. Vol. 4 (29). P. 207–215.
31. Mitrofanov Yu. I., Pugacheva L. V., Karaseva O. V., Panteleeva T. N. Influence of tillage techniques on humus dynamics in field crop rotation on drained lands // *Materials of the International Scientific and Practical Conference of the FSBSI All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (VNIIMZ) “Effective use of reclaimed lands: problems and solutions”*. Tver: Tver State University, 2018. P. 72–77.
32. Dzyuin A. G., Dzyuin G. P. Soil fertility and productivity of eighth-field crop rotation in long-term experiment // *Agrohimia*. 2018. No. 2. P. 22–23. DOI: 10.7868/S0002188118020023.
33. Kovalenko A. M. Optimization of mixed crops in crop rotations on irrigated lands of steppe of Ukraine and their influence on soil fertility // *Materials of the International Scientific and Ecological conference. “Combined sowing of field crops in the crop rotation of the agricultural landscape”*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2016. P. 178–182.
34. Johnston A. E., Poulton P. R., Coleman K., Macdonald A. J., White R. P. Changes in soil organic matter over 70 years in continuous arable and ley-arable rotations on a sandy loam soil in England // *European Journal of Soil Science*. 2017. Vol. 68. No. 3. P. 305–316. DOI: 10.1111/ejss.12415.

35. Levin K. S., Auerswald K., Reents H. J., Hülsbergen K.-J. Effects of organic energy crop rotations and fertilisation with the liquid digestate phase on organic carbon in the topsoil // *Agronomy*. 2021. Vol. 11. No. 7. Art. No. 1393. DOI: 10.3390/agronomy11071393.
36. Jensen J. L., Beucher A. M., Eriksen J. Soil organic C and N stock changes in grass-clover leys: effect of grassland proportion and organic fertilizer // *Geoderma*. 2022. Vol. 424. Art. No. 116022. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116022.
37. Miller J. J., Owen J. J., Yang X. M., Drury C. F., Reynolds W. D., Chanasyk D. S. Long-term cropping and fertilization influences soil organic carbon, soil water repellency, and soil hydrophobicity // *Can. J. Soil. Sci.* 2020. Vol. 100. No. 3. P. 234–244. DOI: 10.1139/cjss-2019-0129.
38. Fu X., Wang J., Sainju U., Liu W. Soil carbon fractions in response to long-term crop rotations in the Loess Plateau of China // *Soil Science Society of America Journal*. 2017. Vol. 81. No. 3. P. 503–513. DOI: 10.2136/sssaj2016.04.0122.
39. Pińska D., Rutkowska A. Selected chemical properties of sandy soil after 36 years of differential fertilization with mineral nitrogen and manure without liming in two crop rotation // *Soil Sci. Ann.* 2020. Vol. 71. No. 3. P. 246–251. DOI: 10.37501/soilsa/128687.
40. WICST 1st report. Madison: University of Wisconsin, Center for Integrated Agricultural Systems, 1991. 130 p.
41. Potter T. S., Vereecke L., Lankau R. A., Sanford G. R., Silva E. M., Ruark M. D. Long-term management drives divergence in soil microbial biomass, richness, and composition among upper Midwest, USA cropping systems // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2022. Vol. 325. Art. No. 107718. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107718.
42. Jarvis N., Forkman J., Koestel J., Kätterer T., Larsbo M., Taylor A. Long-term effects of grass-clover leys on the structure of a silt loam soil in a cold climate // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2017. Vol. 247. P. 319–328. DOI: 10.1016/j.agee.2017.06.042.
43. Börjesson G., Bolinder M.A., Kirchmann H., Kätterer Vol. Organic carbon stocks in topsoil and subsoil in long-term ley and cereal monoculture rotations // *Biol Fertl Soils*. 2018. Vol. 54. No. 4. P. 549–558. DOI: 10.1007/s00374-018-1281-x.
44. Macedo I., Roel A., Ayala W., Pravia M., Terra J., Pittelkow P. Irrigated rice rotations affect yield and soil organic carbon sequestration in temperate South America // *Agronomy Journal*. 2022. Vol. 114. Iss. 2. P. 961-975. DOI: 10.1002/agj2.20964.

UDC 631.452:631.84:633.2

Svechnikov A. K., Kozlova L. M.

DYNAMICS OF HUMUS CONTENT IN CROP ROTATIONS WITH PERENNIAL GRASSES

Summary. *To date, the issues of agrophytocenoses optimization and fertilizer application are relevant. This results from the fact that the condition of soil is deteriorating and humus content is decreasing. The aim of the research was to evaluate the effect of saturation of crop rotation with perennial grasses on the humus content in the soil, taking into account the analysis of data from Russian and foreign scientific sources. Field experiments were conducted in 2001–2018 in the Republic of Mari El in three grass-grain crop rotations. Experimental design included the following options: Factor A – proportions of clover, alfalfa and timothy grass mixture in the crop rotation structure ($1/6$, $1/3$, $1/2$); Factor B – mineral fertilizer application (mineral fertilizers were applied at a dose of $N_{90}P_{90}K_{90}$ ($P_{90}K_{90}$ in the third rotation) and $N_{60}P_{60}K_{60}$). The soil cover of the experimental site is represented by sod-podzolic medium loamy soils. Humus content in the arable layer (0-20 cm) – 1.82 % (according to Tyurin), total nitrogen content (according to Kjeldahl) – 0.15 %, mobile phosphorus and potassium supply (according to Kirsanov) – 840 mg/kg and 200 mg/kg, respectively (2001). When applying $N_{60}P_{60}K_{60}$ for 18 years, the humus content in the 0–20 cm soil layer on average increased by 0.49 ± 0.03 % (1.29 times or 0.027 ± 0.005 % per year). A decrease in the doses of phosphorus-potassium fertilizers and absence of nitrogen fertilization led to the loss of 0.17 ± 0.08 % of humus content on average for the third rotation. In the third rotation without nitrogen fertilizer application, it was found: if perennial grasses proportion is increased by $1/6$, the humus losses, on average, decrease from 0.27 % to 0.08 % or from 0.045 % to 0.13 % per*

year. According to the data of other researchers published over the past 10 years, the saturation of crop rotations with perennial grasses contributed to an increase in the humus content in the soil in 84.6% of experiments (up to 0.075% per year). Mineral fertilizers contributed to the growth of this indicator up to 0.075 % per year (in 82.4 % of the studies).

Keywords: legume-cereal grass mixtures, nitrogen, fertilizers, saturation, NPK.

Свечников Александр Константинович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого»; 425231, Республика Марий Эл, Медведевский район, п. Руэм, ул. Победы, 10, e-mail: koalder@yandex.ru.

Козлова Людмила Михайловна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», 610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а, e-mail: zemlede_l_niish@mail.ru.

Svechnikov Aleksandr Konstantinovich, Cand. Sc. (Agr.), researcher of the Department of crop cultivation technologies, Mari ARI – Branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky”; 10, Pobedy str., Ruem village, Medvedevsky district, Mari El Republic, 425231, Russia; koalder@yandex.ru.

Kozlova Lyudmila Mihaylovna, Dr. Sc. (Agr.), leading researcher, head of the Department of agriculture, agrochemistry and land reclamation, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky»; 166a, Lenina str, Kirov, 610007, Russia; zemlede_l_niish@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 27.04.2023.

Дата принятия к печати – 23.05.2023.

EDN LBBLEN

DOI 10.5281/zenodo.8272005

УДК 631.319

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

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РАСПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ АГРЕГАТА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМБИНИРОВАННОГО

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

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

Реферат. В условиях развития индустриализации земледелия Республики Крым интенсивная механизация обработки почвы во многом оказала отрицательное действие на её плодородие. Частое применение энергонасыщенных тракторов с орудиями, уплотняющими пахотный и предпахотный почвенные слои привели к их деструктуризации. Постоянная вспашка с оборотом пласта, интенсивное рыхление привели к активизации биологических процессов и усиленной минерализации органического вещества. Данный негативный процесс привел к значительным потерям азота, который не использовали растения, снижению гумуса в почве, а также к интенсивному процессу развития ветровой эрозии. Использование агрегата АПК-3,8М для сплошной, предпосевной и паровой обработки почвы с одновременным боронованием и прикатыванием на каменистых типах почв в зонах рискованного земледелия дает возможность снизить эрозионные процессы. Цель исследований – теоретически обосновать основные параметры и схему расположения рабочих органов предлагаемого почвообрабатывающего агрегата, который включает в себя два ряда стрельчатых лап, две секции кольцевой бороны и прутковый каток. Исследования проводили в 2023 г. на базе ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». При обосновании основных параметров и схемы расположения рабочих органов агрегата почвообрабатывающего комбинированного использовали положения о механическом подобии земледельческой механики, основные положения теоретической механики и механики сплошной среды. С учетом глубины обработки h и основных физико-механических свойств почвы обосновано расстояние между рядами культиваторных лап, угол атаки секций кольцевых борон α_k , количество кольцевых рыхлителей $n_{к.р.}$ и высота установки пруткового катка Δh_k , обеспечивающие качественное выполнение технологического процесса при соблюдении агротехнических требований с достижением средней плотности обработанного слоя почвы $\rho_{опт} = 1,1 \text{ г/см}^3$. Получена теоретическая зависимость необходимого количества кольцевых рыхлителей бороны от установленного угла атаки α_k , которое находится в диапазоне от 16 до 18.

Ключевые слова: плодородие почвы, комбинированный агрегат, расстановка рабочих органов, кольцевой рыхлитель, прутковый каток, качество обработки, плотность почвы.

Для цитирования: Соболевский И. В., Куклин В. А., Калафатов И. И. Обоснование конструктивных параметров и расположения рабочих органов агрегата почвообрабатывающего комбинированного // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 102–109. EDN: LBBLEN. DOI 10.5281/zenodo.8272005.

For citation: Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Kalafatov I. I. Justification of design parameters and location of the working bodies of the combined tillage unit // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 102–109. EDN: LBBLEN. DOI 10.5281/zenodo.8272005.

Введение

В условиях индустриализации земледелия Республики Крым интенсивная механизация обработки почвы во многом оказала отрицательное действие на её плодородие. Частое применение энергонасыщенных тракторов с орудиями, уплотняющими пахотный и предпахотный почвенные слои, привели к их деструктуризации. Постоянная вспашка с оборотом пласта, интенсивное рыхление привели к активизации биологических процессов и усиленной минерализации органического вещества. Данный негативный процесс привел к значительным потерям азота, который не использовали растения, снижению гумуса в почве, а также к интенсивному процессу развития ветровой эрозии [1, 2].

Paue W. S. с соавторами исследовали технологии обработки почвы, сводящие к минимуму частоту и интенсивность нарушения её структуры. Основная цель исследований – обоснование процесса увеличения связывания углерода (C) и азота (N), а также повышение устойчивости систем земледелия в засушливых районах, влияние случайных нарушений на образование почвенных агрегатов с содержанием органического углерода в почве (SOC). Как показали результаты исследований, частота и интенсивность технологий основной обработки почвы значительно ухудшают устойчивость и секвестрацию C и N, а также потенциал почв засушливых земель. Paue W. S., Thapa V. R., Ghimire R. рекомендуют выполнение технологий минимальной обработки почвы, что позволит значительно снизить негативное воздействие на почвенные экосистемы [3, 4].

Исследователь Умберто Бланко-Канки утверждает, что периодическая обработка почвы (минимальная в отличие от нулевой) также обеспечивает эффективную практику борьбы с эрозией почвы, экономит воду и снижает денежные и энергетические затраты. При этом данная технология в отличие от нулевой позволяет бороться с сорной растительностью, стратификацией почвенного органического углерода (SOC) и питательных веществ, а также минимизирует риски уплотнения обрабатываемого почвенного пласта [5].

Как показывает анализ существующих технических средств, используемых для технологий почвозащитной системы минимальной обработки почвы и их рабочих органов, основное применение нашли рабочие органы, имеющие общий характер сохранения стернового фона и мульчи. К ним относятся стрельчатые лапы культиватора с малым углом наклона к горизонту, формирующие плоскорезную обработку почвы. Затем идут ротационные рабочие органы, выполняющие прерывистое бороздование либо лункование – гибкие ротационные бороны. При этом, финишный шлейф обязательно должен быть дооборудован системой катков, формирующих мелкокомковатую уплотнённую структуру почвы. Однако такой тип комбинированных рабочих органов недостаточно полно изучен и требует дополнительных исследований [6, 7].

В работах отечественных ученых (Дёмшин С.Л. и Черемисинов Д.А.) при исследовании комбинированного почвообрабатывающего агрегата и оценке эффективности его использования показано, что он обеспечивает высокое качество безотвальной обработки почвы и создает на поверхности мульчирующий слой. Однако, данный агрегат адаптирован к условиям почв европейской части Северо-Востока России [8].

Почвенные условия Крымского региона имеют свои отличительные особенности. Почвы региона представлены южным мицелярно-карбонатным черноземом, где почвообразующими породами являются желто-бурые лессовидные и красные глины, и черноземом обыкновенным мицелярно-карбонатным предгорным, где почвообразующими породами являются красно-

бурые, палевожелтые и желто-бурые хрящево-щебенчатые, а также галечные суглинки и глины. С учетом особенностей почв Крыма была разработана конструкция агрегата почвообрабатывающего комбинированного АПК-3,8М с применением технологий почвозащитной системы минимальной обработки почвы (рисунок 1).

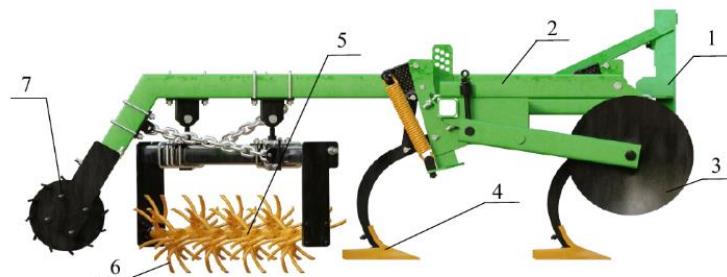


Рисунок 1 – Общий вид агрегата почвообрабатывающего комбинированного АПК-3,8М

Примечание. 1 – навеска; 2 – рама; 3 – опорное колесо; 4 – культиваторные лапы; 5 – кольцевая борона; 6 – рыхлительные зубья; 7 – прутковый каток.

Использование данного агрегата для сплошной, предпосевной и паровой обработки почвы с одновременным боронованием и прикатыванием на каменистых типах почв в зонах рискованного земледелия дает возможность снизить эрозионные процессы. Однако, схема расположения шлейфа рабочих органов, взаимодействующих в определенной последовательности для обеспечения качества обработки почвы, до сих пор не получила теоретическое обоснование. Поэтому изучение рационального расположения рабочих органов в соответствии с технологическими операциями обработки почвы требует дальнейших исследований.

Цель исследований – теоретически обосновать основные параметры и схему расположения рабочих органов агрегата почвообрабатывающего комбинированного.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2023 г. на базе ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». При обосновании основных параметров и схемы расположения рабочих органов агрегата почвообрабатывающего комбинированного использовались положения о механическом подобии земледельческой механики, основные положения теоретической механики и механики сплошной среды [7].

Результаты и их обсуждение

Разработанная на базе культиватора рыхлителя горного конструкция агрегата почвообрабатывающего комбинированного АПК-3,8М (см. рисунок 1) включает в себя два ряда стрельчатых лап, две секции кольцевой бороны (патент РФ № 214121) и прутковый каток.

Культиваторные лапы производят рыхление почвы на глубину до 16 см и обеспечивают подрезание корневой системы сорной растительности. Кольцевая борона, воздействуя на почву рыхлительными зубьями и рабочей частью колец на глубину до 6 см, осуществляет дробление крупных глыб и частично разравнивает поверхность поля. Идущий следом прутковый каток раздавливает мелкие глыбы, выравнивает и уплотняет обрабатываемую поверхность (рисунок 2).

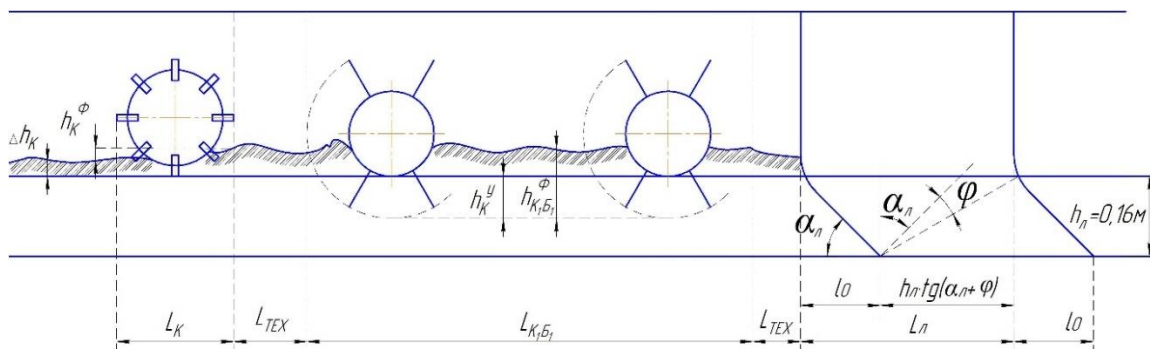


Рисунок 2 – Схема расположения рабочих органов на раме агрегата

Расстояние между первым и вторым рядом культиваторных лап $L_{л}$ должно удовлетворять следующему условию [9]:

$$L_{л} = l_0 + h_{л} \cdot tg(\varphi + \alpha_{л}), \quad (1)$$

где l_0 – расстояние от оси стойки до носка лапы;

$h_{л}$ – глубина хода лапы;

φ – угол трения почвы о сталь;

$\alpha_{л}$ – угол наклона груди лапы.

При глубине обработки $h_{л,max} = 0,16$ м расчётное значение $L_{л}$ не превысит 0,35 м.

В соответствии со схемой на рисунке 3 расстояние между центрами соседних кольцевых рыхлителей составит:

$$l_{ц.к.} = 2(x_3 + l_3 \cos \alpha_3) + \Delta_{тех}, \quad (2)$$

где x_3 – горизонтальное смещение основания зуба относительно центра кольца;

l_3 – длина проекции зуба на плоскость кольца, $l_3 = 0,126$ мм;

α_3 – угол установки зубьев, $\alpha_3 = 60^\circ$;

$\Delta_{тех}$ – технологический зазор, $\Delta_{тех} = 0,015$ м.

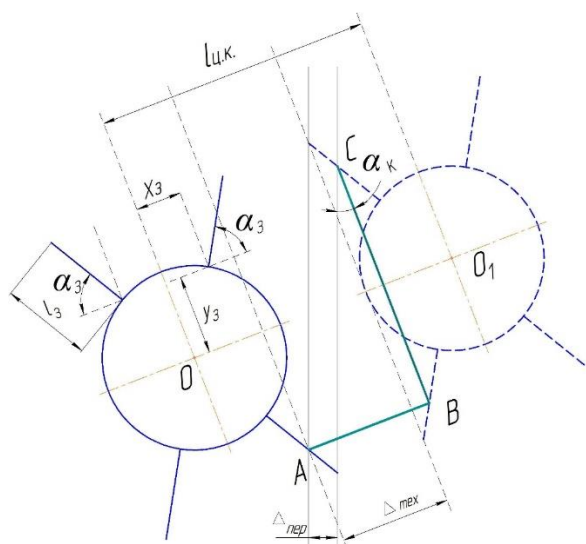


Рисунок 3 – Схема расположения кольцевых рыхлителей в ряду

С целью активизации рыхления и разравнивания почвы батареи кольцевых рыхлителей должны быть расположены под углом атаки $\alpha_{к}$, который определяется из условия обеспечения зоны перекрытия рыхлительных зубьев соседних кольцевых рыхлителей:

$$tg\alpha_k = \frac{AB}{BC} = \frac{l_{ц.к.} - 2x_3 - (2l_3 - \Delta'_{пер})\cos\alpha_3}{2y_3 + 2(l_3 - \Delta'_{пер})\sin\alpha_3}, \quad (3)$$

где y_3 – вертикальное смещение основания зуба относительно центра кольца;

$\Delta'_{пер}$ – величина перекрытия зубьев, $\Delta'_{пер} = 0,01$ м.

Как показали полевые испытания, наибольшая эффективность обеспечивается при $\alpha_k = 10\text{--}22^\circ$, что согласуется с результатами расчетов по формуле (3).

С целью снижения металлоемкости почвообрабатывающего агрегата выбрана схема расположения секций кольцевых рыхлителей в один ряд на двух параллельно расположенных брусах рамы.

Необходимое количество кольцевых рыхлителей определим по формуле:

$$n_{к.р.} = \frac{B_p}{[2(x_3 + l_3 \cos\alpha_3) + \Delta_{тех}] \cos\alpha_{к.мах.}}. \quad (4)$$

где $\cos\alpha_{к.мах.}$ – максимальное значение угла атаки, $\cos\alpha_{к.мах.} = 22^\circ$;

B_p – рабочая ширина захвата агрегата.

Графическая интерпретация уравнения (4) представлена на рисунке 4.

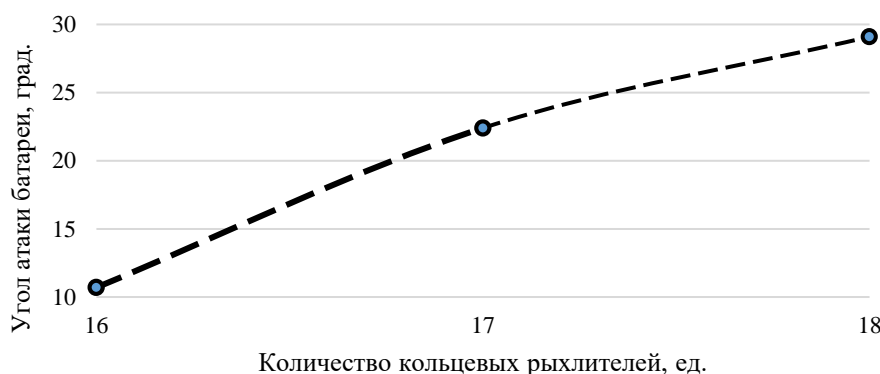


Рисунок 4 – Зависимость угла атаки батареи от количества кольцевых рыхлителей

Полученное значение $n_{к.р.}$ округляем до ближайшего большего значения и по нижеприведенной формуле рассчитываем уточненное значение угла атаки:

$$\cos\alpha_k = \arccos\left(\frac{B_p}{[2(x_3 + l_3 \cos\alpha_3) + \Delta_{тех}] \cdot n_{к.р.}}\right). \quad (5)$$

Длина одной секции равна:

$$L_{секц.к.б.} = \frac{1}{2} \cdot \frac{B_p}{\cos\alpha_k}. \quad (6)$$

Длина продольной проекции кольцевой бороны с учетом двухрядного расположения на раме равна:

$$L_{к.б.} = \frac{1}{2} \cdot B_p \cdot tg\alpha_k \quad (7)$$

Комбинированный агрегат комплектуется хорошо зарекомендовавшим себя серийно выпускаемым прутковым катком диаметром 350 мм.

В соответствии со схемой, изображенной на рисунке 2, и с учетом формул (1), (7) длина рамы комбинированного орудия определится по следующей зависимости:

$$L_{рамы} = 2 \cdot l_0 + h_{л.} \cdot tg(\varphi + \alpha_{л.}) + \frac{1}{2} \cdot B_p \cdot tg\alpha_k + d_{кат} + 2 \cdot L_{тех}, \quad (8)$$

где $d_{кат}$ – диаметр катка;

$L_{\text{тех}}$ – технологический зазор, $L_{\text{тех}} = 0,1$ м.

Среднее значение плотности почвы в процессе обработки изменяется в широком диапазоне: от 1,4–1,6 г/см³ в необработанной зоне, до 0,95–1,05 г/см³ – после двукратного воздействия культиваторных лап и значительного «вспушивания» почвы. После разравнивающего и уплотняющего воздействия последовательно расположенных секций кольцевой бороны и пруткового катка необходимо обеспечить значение этого показателя на оптимальном уровне 1,1–1,15 г/см³.

Так как масса почвы в обрабатываемом слое неизменна – $m_{\text{п}} = \rho \cdot V = \text{const}$, то отношение плотностей почвы до и после обработки будет обратно пропорционально отношению их объемов:

$$\frac{\rho_0}{\rho_{\text{опт}}} = \frac{V_{\text{кон}}}{V_0}, \quad (9)$$

где ρ_0 – начальная плотность почвы в необработанном слое;

$\rho_{\text{опт}}$ – конечная плотность почвы после прохода комбинированного агрегата;

V_0 – начальный объем пласта почвы в зоне обработки;

$V_{\text{кон}}$ – конечный объем обработанного пласта почвы.

С учетом формул для начального и конечного объемов пласта почвы:

$$V_0 = B_p \cdot h_l \cdot L, \quad (10)$$

$$V_{\text{кон}} = B_p \cdot (h_l + \Delta h_k) \cdot L, \quad (11)$$

где L – длина обработанного пласта почвы;

Δh_k – высота расположения катка относительно начального уровня почвы до обработки.

Представим формулу (8) в следующем виде:

$$\Delta h_k = \left(\frac{\rho_0}{\rho_{\text{опт}}} - 1 \right) h_l. \quad (12)$$

При значениях плотностей $\rho_0 = 1,4$ г/см³, $\rho_{\text{опт}} = 1,1$ г/см³ и заданной глубине обработки $h_l = 0,16$ м величина высоты установки катка Δh_k составит 0,04 м.

Выводы

Предложена рациональная схема расстановки рабочих органов комбинированного агрегата: стрельчатых лап, секций кольцевых борон и пруткового катка. С учетом глубины обработки h и основных физико-механических свойств почвы обосновано расстояние между рядами культиваторных лап, угол атаки секций кольцевых борон α_k , количество кольцевых рыхлителей $n_{\text{к.р}}$ и высота установки пруткового катка Δh_k , обеспечивающие качественное выполнение технологического процесса при соблюдении агротехнических требований с достижением средней плотности обработанного слоя почвы $\rho_{\text{опт}} = 1,1$ г/см³. Получена теоретическая зависимость необходимого количества кольцевых рыхлителей бороны от установленного угла атаки α_k , которое находится в диапазоне от 16 до 18.

Отчетное исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Министерства образования, науки и молодежи Республики Крым в рамках научного проекта РНФ № 23-29-10012 «Разработка почвозащитной системы минимальной обработки почвы южных регионов Российской Федерации».

Литература

1. Алексеев В. В. Динамика уплотненного состояния почв при минимальной обработке // Вестник Российского университета кооперации. 2013. № 1 (11). С. 118–122.
2. 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.
3. Paye W. S., Thapa V. R., Ghimire R. Limited impacts of occasional tillage on dry aggregate size distribution and soil carbon and nitrogen fractions in semi-arid drylands // International Soil and Water Conservation Research Available. 2023. DOI: 10.1016/j.iswcr.2023.04.005.

4. Blanco-Canqui H., Wortmann C. S. Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review // Soil and Tillage Research. 2020. Vol. 198. Art. No. 104534. DOI: 10.1016/j.still.2019.104534.
5. Дёмшин С. Л., Нуризянов Р. Р. Повышение эффективности комбинированного орудия для основной обработки почвы // Труды VI Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» Ч.2. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. С. 108–113.
6. Соболевский И. В., Куклин В. А. Исследование процесса работы экспериментального стерневого культиватора для поверхностной обработки почвы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4 (32). С. 213–221.
7. Sobolevsky I. V., Pashtetskiy V. S., Kalafatov I. I. Substantiation of the parameters of the working bodies of undulating disks of soil-cultivating harrows with a bionic approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. “International Conference on Agricultural Science and Engineering, ASAE 2021”. 2021. Vol. 845. Art. No. 012140. DOI: 10.1088/1755-1315/845/1/012140.
8. Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Козлова Л. М., Попов Ф. А., Носкова Е. Н. Разработка комбинированного почвообрабатывающего агрегата и оценка эффективности его использования // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 4 (41). С. 57–61.
9. Василенко П. М., Бабий П. Т. Культиваторы (конструкция, теория и расчет). Киев: УАСХН, 1961. 239 с.

References

1. Alekseev V. V. Seal dynamics of soil with minimum processing // Vestnik of the Russian University of Cooperation. 2013. No. 1 (11). P. 118–122.
2. 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.
3. Paye W. S., Thapa V. R., Ghimire R. Limited impacts of occasional tillage on dry aggregate size distribution and soil carbon and nitrogen fractions in semi-arid drylands // International Soil and Water Conservation Research. 2023. DOI: 10.1016/j.iswcr.2023.04.005.
4. Blanco-Canqui H., Wortmann C. S. Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review // Soil and Tillage Research. 2020. Vol. 198. Art. No. 104534. DOI: 10.1016/j.still.2019.104534.
5. Demshin S. L., Nurizyanov R. R. Improving the efficiency of a combined tool for basic tillage // Proceedings of the VI International Scientific and Technical Conference “Energy supply and energy saving in agriculture”. Part 2. Moscow: All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture (VIESH), 2008. P. 108–113.
6. Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Research of the operation process of the experimental stubble cultivator for surface tillage // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 4 (32). P. 212–220.
7. Sobolevsky I. V., Pashtetskiy V. S., Kalafatov I. I. Substantiation of the parameters of the working bodies of undulating disks of soil-cultivating harrows with a bionic approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. “International Conference on Agricultural Science and Engineering, ASAE 2021”. 2021. Vol. 845. Art. No. 012140. DOI: 10.1088/1755-1315/845/1/012140.
8. Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Kozlova L. M., Popov F. A., Noskova E. N. Working out of the combined soil-cultivating unit and estimation of efficiency of its use // Agricultural Science Euro-North-East. 2014. No. 4 (41). P. 57–61.
9. Vasilenko P. M., Babiy P. T. Cultivators (Design, theory and calculation). Kyiv: Ukrainian Academy of Agricultural Sciences, 1961. 239 p.

UDC 631.319

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

JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS AND LOCATION OF THE WORKING BODIES OF THE COMBINED TILLAGE UNIT

Summary. *Intensive mechanization of tillage, under conditions of intensive development of industrialization of agriculture in the Republic of Crimea, had a negative effect on soil fertility. Frequent use of energy-intensive tractors with attached machines that compact arable and sub-arable soil layers had led to their destructurization (destructive processes). Regular ploughing with full or partial soil layers' turnover and intensive loosening led to activation of biological processes and increased mineralization of organic matter. This negative process led to significant losses of nitrogen, which was not used by plants, as well as to reduction of humus content and intensive development of wind erosion. The use of combined tillage unit APK-3.8M for continuous, pre-sowing and fallow tillage with simultaneous harrowing and rolling on stony soils in areas of risky farming makes it possible to reduce erosion processes. The purpose of the*

research was to theoretically justify the main parameters of the combined tillage unit APK-3.8M and location of its working bodies, namely two rows of duck-foot shares, two sections of the ring harrow and a bar roller. The studies were carried out in 2023 at the FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea". To justify the combined tillage unit basic parameters and scheme of working bodies location, we used the theory of mechanical similarity of agricultural mechanics, basic principles of theoretical mechanics and continuum mechanics. Taking into account the tillage depth h and the basic physical and mechanical properties of the soil, we have justified the distance between the rows of cultivator share, the angle of attack of the ring harrow sections α_k , the number of ring rippers $n_{k.r.}$ and the height of the bar roller installation Δh_k , which provide a high-quality technological process, in full compliance with agrotechnical requirements, with the achievement of the average density of the treated soil layer $\rho_{opt} = 1.1 \text{ g/cm}^3$. In the course of conducted studies, theoretical dependence of the required number of ring rippers, which ranges from 16 to 18, on the angle of attack of the ring harrow sections α_k was obtained.

Keywords: soil fertility, combined unit, arrangement of working bodies, ring ripper, bar roller, tillage quality, soil density.

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. Научный сотрудник отдела механизации производства и разработки новых образцов техники, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: 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; researcher 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: 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 – 07.05.2023.

Дата принятия к печати – 23.05.2023.

EDN LLOPPI

DOI 10.5281/zenodo.8272028

УДК 633.16 «321»:631.526.32

Соколенко Н. И.

НОВЫЙ СОРТ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ЕВСЕЙ

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»

Реферат. Яровой ячмень является важнейшей кормовой, продовольственной и технической культурой, возделываемой повсеместно в Российской Федерации. В южных регионах страны его используют и в качестве страховой культуры. Особенно пользуются спросом в производстве высокоурожайные сорта, лучше адаптированные к условиям выращивания. Поэтому создание новых сортов ярового ячменя, их всесторонняя оценка и выделение наиболее перспективных является актуальным направлением селекции. Целью настоящих исследований является оценка нового сорта ярового ячменя Евсей по признакам, обеспечивающим его высокую урожайность и адаптивность к условиям возделывания. Сорт Евсей создан в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» совместно с ООО «Агростандарт» методом многократного индивидуального отбора из гибридной популяции, полученной от скрещивания сортов Виконт 3 и Landora M. В 2023 г. сорт внесен в Госреестр селекционных достижений РФ и рекомендован к возделыванию по Северо-Кавказскому и Центрально-Черноземному региону. Зона исследований характеризуется умеренно-континентальным климатом с ГТК = 1,06, количеством эффективных температур в течение года 3177,2 °С, осадков – 559,6 мм. Оценка сорта проводилась в конкурсном сортоиспытании в 2018–2020 гг. по Методике государственного сортоиспытания в сравнении с засухоустойчивым стандартом – сортом ярового ячменя Одесский 22. Опыт закладывали по чистому пару с нормой высева 4 млн зерен на гектар. Евсей устойчив к полеганию, относится к среднеранним сортам, разновидность putans, высота растений 68–75 см. Засухоустойчивость сорта выше, чем у стандарта. Отличается устойчивостью к пыльной головне, ринхоспориозу, сетчатой пятнистости (поражение не более 3 %) и относительной устойчивостью к темно-бурой пятнистости и мучнистой росе (поражение до 10 %). Сорт высокоурожайный с потенциальной урожайностью зерна 8 т/га, в конкурсном сортоиспытании в среднем за три года превзошел стандарт на 0,69 т/га, содержит 13,0–14,6 % белка в зерне, предназначается на фуражные цели.

Ключевые слова: *Hordeum distichum* L., двурядный ячмень, сорт, урожайность, зерно, признак, устойчивость.

Для цитирования: Соколенко Н. И. Новый сорт ярового ячменя Евсей // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 110–116. EDN: LLOPPI. DOI 10.5281/zenodo.8272028.

For citation: Sokolenko N. I. 'Evsei' – new variety of spring barley // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 110–116. EDN: LLOPPI. DOI 10.5281/zenodo.8272028.

Введение

Ячмень является одной из основных зерновых культур в мире и России [1]. Важность культуры обеспечивает высокая питательная ценность зерна [2], которое широко используется в пищевой и пивоваренной промышленности, а также в качестве корма в животноводстве.

В южных регионах России почвенно-климатические условия благоприятны для возделывания как ярового, так и озимого ячменя. Однако в структуре посевных площадей озимый ячмень преобладает над яровым в связи с более высоким

потенциалом продуктивности за счет максимального использования почвенной влаги зимнего и весеннего периодов [3]. В то же время яровой ячмень представляет интерес как страховая культура для подсева и пересева погибших озимых посевов пшеницы и ячменя. В Ставропольском крае такие работы проводятся практически ежегодно, так как при отсутствии снежного покрова на полях при низких температурах на уровне узла кущения растений возможна гибель озимых посевов. Площади под яровым ячменем за 2020–2022 гг. во всех типах хозяйств в среднем составили 41,0 тыс. га, а средняя урожайность зерна в эти же годы – 2,03 т/га. Наибольшие площади посевов отмечены в I и II почвенно-климатической зоне края. В производстве в основном возделывают сорта ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» – Странник, Булат и совместной селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» и Одесского селекционно-генетического института) – Вакула, Эней УА, Гетьман, Одесский 22, Прерия. Урожайность этих сортов в государственном сортоиспытании достигала 5,0–7,4 т/га, высоким потенциалом урожайности отличается сорт Вакула – 5,0–9,2 т/га [4]. В годы с повышенным температурным режимом, высокой насыщенностью суховеями и недостатком влаги сбор зерна ячменя снижается [5]. Проблема снижения зависимости сельскохозяйственной отрасли от экстремальных погодных явлений может быть решена благодаря созданию и внедрению в производство новых сортов с высоким адаптационным потенциалом [6–9]. Таким образом, основой продовольственной безопасности является селекция растений [10].

Цель исследований – оценка нового сорта ярового ячменя Евсей по признакам, обеспечивающим его высокую урожайность и адаптивность к меняющимся факторам окружающей среды.

Материалы и методы исследований

В работе использовали новый сорт ярового ячменя Евсей оригинальной селекции, который включен в 2023 г. в Госреестр селекционных достижений РФ, с рекомендацией к возделыванию по Северо-Кавказскому и Центрально-Черноземному региону РФ. Оценка сорта проводили в конкурсном сортоиспытании в 2018–2020 гг. в селекционном севообороте лаборатории отдаленной гибридизации ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в зоне неустойчивого увлажнения.

Почва опытного участка представлена чернозёмом обыкновенным среднесуглинистым среднемощным слабогумусированным, с содержанием в горизонте 0–30 см 4,3–4,5 % гумуса (ГОСТ 26213-91), 0,22 % общего азота (ГОСТ 26107-84), 19–22 мг/кг подвижного фосфора (ГОСТ 26205-91), 200–220 мг/кг обменного калия (ГОСТ 26210-91); реакция среды – слабощелочная, pH = 7,2–7,3 единиц; сумма обменных оснований – 35,2 мг-экв/100 г почвы.

Зона проведения исследований по многолетним показателям характеризуется умеренно-континентальным климатом с ГТК = 1,06, количеством эффективных температур в течение года 3177,2 °С, осадков – 559,6 мм.

Погодные условия вегетационного периода (апрель–июль) в 2018–2020 гг. отличались от многолетних показателей повышением среднемесячных температур в годы исследований соответственно на 2,41; 1,50 и 0,95 °С, а количество осадков в эти же годы было меньше климатической нормы (251,1 мм) и составило 137,6; 165,5 и 228,2 мм. На фоне повышенных температур и недостатка влаги очень засушливым оказался вегетационный период в 2018 и 2019 гг., ГТК в эти годы составил соответственно 0,61 и 0,58; по многолетним данным – 1,17. В 2020 г. ГТК был близким к климатической норме – 1,02. Засуха во все годы исследований отмечена в апреле, ГТК составил 0,63; 0,02 и 0,85 соответственно годам исследования, по многолетним же данным апрель характеризуется как устойчиво влажный, ГТК = 0,99.

Изучение сорта проводили в конкурсном сортоиспытании по Методике государственного сортоиспытания [12]. Опыт закладывали сеялкой ZÜRN D62-SE по чистому пару с нормой высева 4 млн всхожих семян на один гектар в четырех повторностях, расположение делянок систематическое, учетная площадь делянки 10 м². Стандартом послужил сорт ярового ячменя Одесский 22. Оценка устойчивости сортов к засухе проводили глазомерно оценивая состояние посевов в баллах (1–5) по шкале: без заметных повреждений растений оценивали пятью баллами, посевы, близкие к гибели – одним баллом, промежуточное состояние посевов и растений – баллами 4, 3, 2. Учет устойчивости сортов к полеганию проводили в питомнике, начиная с проявления этого признака и до уборки урожая. Неполегающие сорта оценивали в 5 баллов, посевы с разной степенью полегания растений баллами 4, 3, 2, 1. По 5-балльной шкале оценивали склонность сортов к осыпавости, прорастанию зерна на корню, пониканию и ломкости колоса. Балл 5 имели сорта, у которых не наблюдали этих явлений. В случае проявления этих явлений сорта оценивали баллами 4, 3, 2, 1. Вымолачиваемость колоса также оценивали по 5-ти балльной шкале. Балл 5 получали сорта с отличной вымолачиваемостью колоса, сорта с худшей вымолачиваемостью колоса имели соответственно балл 4, 3, 2, 1. Устойчивость к болезням определяли глазомерно на естественном фоне в соответствии с Рекомендациями ФГНУ «Росинформагротех» [13]. Использовали следующую градацию устойчивости по степени поражения: абсолютно устойчивые (0 %), устойчивые (1–3 %), относительно устойчивые (от 5 до 15 %), неустойчивые (от 15 до 25 %), абсолютно неустойчивые (от 25 % и выше). Элементы структуры урожая определяли на учетных площадках, отобранных на делянках в восковую спелость зерна. Уборку делянок проводили в фазе полной спелости зерна селекционным комбайном ZÜRN 150. Физические и качественные показатели зерна определяли в лаборатории качества зерна: массу 1000 зерен рассчитывали по ГОСТ 10842-89, натуру зерна – ГОСТ 10840-64, содержание белка – ГОСТ Р 53900-2010. Агробиологические признаки сорта Евсей отмечали в течение роста и развития растений в поле и после созревания и уборки зерна в лаборатории. В полевых условиях определяли тип куста, наличие опушения, воскового налета, антоциановой окраски нижних листьев и флагового листа, в лабораторных условиях – разновидность, размеры колоса и остей, их зазубренность, наличие воскового налета, размеры колосковой чешуи и ости, наличие антоциановой окраски у наружной цветковой чешуи и зазубренности внутренних боковых нервов, описывали форму зерновки, размеры, особенности основной щетинки [14]. Полученные данные обрабатывали математически методом однофакторного дисперсионного анализа с использованием надстройки AgCStat для Excel [15].

Результаты и их обсуждение

Сорт Евсей создан в результате многократного индивидуального отбора из гибридной популяции, полученной внутривидовой гибридизацией между двумя сортами Виконт 3 и Landoga M, проведенной в 2010 г. Полученный гибридный материал изучали на разных этапах селекционного процесса по схеме для самоопылителей: гибридные питомники F₁–F₅ (2011–2015 гг.), селекционный (2016 г.), контрольный (2017 г.), конкурсное сортоиспытание (2018–2020 гг.). Генотип АС-33, именуемый в дальнейшем как Евсей был отобран в F₅.

Агробиологические признаки сорта. Евсей относится к разновидности *nutans*, имеет двурядный, рыхлый, цилиндрической формы колос, средней длины или длинный со слабым восковым налетом. Положение колоса полупрямостоячее или горизонтальное. Первый сегмент стержня колоса короткий или средний, изгиб

первого сегмента слабый. Колос остистый, ости длинные, зазубренные, интенсивность антоциановой окраски кончиков остей средняя.

Тип куста у сорта в кущение полупрямостоячий–промежуточный. Опушение листовых влагалищ нижних листьев отсутствует, ушки флагового листа имеют слабую антоциановую окраску, восковой налет на влагалище флагового листа слабый. Зерновка пленчатая, полуудлиненной формы, средних размеров, масса 1000 зерен 41,6–45,9 г, основная щетинка зерновки длинная, опушение брюшной бороздки зерновки отсутствует. Размеры колосковой чешуи и ости среднего колоска длиннее по отношению к зерновке. Антоциановая окраска нервов наружной цветковой чешуи средняя. Зазубренность внутренних боковых нервов наружной цветковой чешуи отсутствует или очень слабая.

Хозяйственно-биологические особенности сорта. Евсей среднеранний сорт, созревает одновременно со стандартом Одесский 22, характеризуется интенсивным весенним отрастанием (таблица 1).

Сорт высокоурожайный, содержание белка в зерне составляет 13,0–14,6 %. Засухоустойчивость сорта выше стандарта. Евсей устойчив к полеганию, ломкости колоса, осыпанию и прорастанию зерна на корню. Сорт отличается высокой устойчивостью к пыльной головне, ринхоспориозу, сетчатой пятнистости (степень поражения 0–3 %), относительной устойчивостью к мучнистой росе, темно-бурой пятнистости (степень поражения 0–10 %).

Таблица 1 – Хозяйственно-биологические особенности сорта ярового ячменя Евсей (среднее за 2018–2020 гг.)

| Признак | Евсей | Одесский 22 (St.) |
|--|-----------|-------------------|
| Продолжительность вегетационного периода, дней | 110–117 | 108–117 |
| Высота растения, см | 68–75 | 64–70 |
| Устойчивость против полегания, балл | 5 | 5 |
| Кустистость продуктивная, шт. | 1,8–1,9 | 1,6–1,8 |
| Натура зерна, г | 640–651 | 648–652 |
| Масса 1000 зерен, г | 41,6–45,9 | 50,0–55,4 |
| Зерен в колосе, шт. | 27–31 | 25–28 |
| Белка в зерне, % | 13,0–14,6 | 12,8–14,8 |
| Вымолачиваемость зерна, балл | 5 | 5 |
| Осыпаемость, балл | 5 | 5 |
| Ломкость колоса, балл | 5 | 5 |
| Устойчивость к прорастанию на корню, балл | 4 | 4 |
| Устойчивость к засухе, балл | 5 | 4 |
| Поражение болезнями на естественном фоне, %: | | |
| пыльная головня | 0 | 0 |
| ринхоспориоз | 0 | 0 |
| темно-бурая пятнистость | 3–10 | 3–10 |
| сетчатая пятнистость | 0–3 | 0–3 |
| мучнистая роса | 0–10 | 0–10 |

Урожайность зерна. Средняя урожайность зерна в конкурсном сортоиспытании 5,35 т/га, что на 0,69 т/га выше, чем у стандарта Одесский 22 (таблица 2). В засушливые 2018 и 2019 гг. сорт Евсей превзошел по урожайности зерна засухоустойчивый стандарт на 0,56 и 1,11 т/га соответственно, что свидетельствует о более высокой засухоустойчивости нового сорта. Наибольшая урожайность в конкурсном сортоиспытании составила 5,96 т/га.

Превосходство над стандартом складывается благодаря большей продуктивной кустистости и озерненности колоса. У сорта Евсей количество продуктивных стеблей в разные годы составило 1,8–1,9 штук, у стандарта – 1,6–1,8,

количество зерен в колосе соответственно 27–31 штук, у стандарта – 25–28 штук (таблица 3).

Таблица 2 – Урожайность сорта Евсей в конкурсном сортоиспытании

| Сорт | Урожайность зерна, т/га | | | Средняя урожайность, т/га |
|-------------------|-------------------------|---------|---------|---------------------------|
| | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | |
| Евсей | 5,96 | 4,26 | 5,84 | 5,35 |
| Одесский 22 | 5,40 | 3,15 | 5,42 | 4,66 |
| НСР ₀₅ | 0,32 | 0,39 | 0,30 | |

Таблица 3 – Элементы структуры урожая сорта Евсей (2018–2020 гг.)

| Сорт | Продуктивная кустистость, шт. | | | Количество зерен в колосе, шт. | | | Масса зерна с колоса, г | | | Масса 1000 зерен, г | | |
|-------------------|-------------------------------|---------|---------|--------------------------------|---------|---------|-------------------------|---------|---------|---------------------|---------|---------|
| | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. |
| Евсей | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 31 | 27 | 31 | 1,29 | 1,34 | 1,42 | 41,6 | 43,1 | 45,9 |
| Одесский 22 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 25 | 25 | 28 | 1,25 | 1,19 | 1,48 | 50,0 | 50,0 | 55,4 |
| НСР ₀₅ | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 1,06 | 1,01 | 1,14 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 1,80 | 1,86 | 2,02 |

В межстанционном сортоиспытании в условиях благоприятного для зерновых колосовых культур вегетационного периода 2022 г. (ГТК = 1,71 против 1,17 по многолетней норме) сорт Евсей сформировал зерна до 8,0 т/га и превзошел стандарт на 0,6 т/га.

Сочетание комплекса ценных признаков позволило сорту Евсей реализовать потенциал урожайности в государственном сортоиспытании и показать преимущество в продуктивности среди других сортов, проходящих сортоиспытание. По результатам государственного сортоиспытания яровой ячмень Евсей в 2023 г. внесен в Госреестр селекционных достижений РФ с рекомендацией к возделыванию по Северо-Кавказскому и Центрально-Черноземному региону РФ.

Выводы

Новый скороспелый сорт ярового ячменя Евсей сочетает комплекс признаков, обеспечивающих прибавку урожайности над стандартом 0,42–1,11 т/га. Превосходство сорта особенно проявляется в экстремальных условиях засухи, за счет продуктивной кустистости и формирования хорошо озерненного колоса (27–31 зерен в колосе против 25–28 штук у стандарта). Сорт отличается высоким содержанием белка в зерне 13,0–14,6 %, что определяет питательную ценность фуража.

Литература

1. Донцова А. А., Филиппов Е. Г., Донцов Д. П., Терновая Е. А. Производство ячменя в мире и России // Зерновое хозяйство России. 2016. № 5. С. 47–51.
2. Мартынова А. И. Качество и питательная ценность зерна разных культур // Зерновые культуры. 2000. № 6. С. 28–31.
3. Филиппов Е. Г., Алабушев А. В. Селекция ярового ячменя. Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2014. 208 с.
4. Кулинцев В. В., Чумакова В. В., Володин А. Б. Сорта и гибриды сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»: каталог. 12-е изд., доп. Ставрополь: ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», 2022. 203 с.
5. Морозов Н. А., Самсонов И. В., Панкратова Н. А. Новый сорт ярового ячменя Булат // Зерновое хозяйство России. 2019. № 1(61). С. 40–43. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-40-43.
6. Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 5. С. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus.
7. Грабовец А. И., Бирюков К. Н. Роль сорта в стабилизации производства зерна в широком диапазоне агроклиматических факторов // Земледелие. 2021. № 5. С. 40–44. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-0-1-48.

8. Солонечный П. Н. АММИ и GGE biplot анализ взаимодействия генотип – среда линий ячменя ярового // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. № 6. С. 657–662. DOI: 10.18699/VJ17.283.
9. Гудзенко В. Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 1. С. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19.469.
10. Гончаров Н. П., Косолапов В. М. Селекция растений – основа продовольственной безопасности России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. № 4. С. 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039.
11. Антонов С. А., Каторгин И. Ю. Картографирование характеристик изменения климата в Ставропольском крае // «ИНТЕРКАРТО. ИНТЕРГИС». 2021. Т. 27. № 3. С. 171–182. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-3-27-171-182.
12. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск I. Общая часть. М.: ФГБУ «Госсорткомиссия», 2019. 329 с.
13. Фитосанитарная экспертиза зерновых культур. (Болезни растений): Рекомендации // Под общ. ред. Санина С.С. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2002. 140 с.
14. Практикум по селекции и семеноводству полевых культур: учебное пособие // Под ред. В. В. Пыльнева. Санкт-Петербург: «Лань», 2014. 448 с.
15. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.

References

1. Dontsova A. A., Filippov E. G., Dontsov D. P., Ternovaya E. A. Barley production in Russia and in the world // Grain Economy of Russia. 2016. No. 5. P. 47–51.
2. Martyanova A. I. Quality and nutritional value of grains of different crops // Grain Crops. 2000. No. 6. P. 28–31.
3. Filippov E. G., Alabushev A. V. Breeding of spring barley. Rostov-on-Don: “Kniga ZAO” (Close Joint-stock Company), 2014. 208 p.
4. Kulintsev V. V., Chumakova V. V., Volodin A. B. Varieties and hybrids of agricultural crops bred in the “North Caucasian Federal Research Agrarian Center”: catalogue. 12th edition, revised and updated. Stavropol: North Caucasian Federal Research Agrarian Center, 2022. 203 p.
5. Morozov N. A., Samsonov I. V., Pankratova N. A. The new spring barley variety “Bulat” // Grain Economy of Russia. 2019. No. 1(61). P. 40–43. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-40-43.
6. Rybas' I. A. Breeding grain crops to increase adaptability (review) // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2016. Vol. 51. No. 5. P. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617eng.
7. Grabovets A. I., Biryukov K. N. Role of the variety in the stabilization of grain production in a wide range of agroclimatic factors // Zemledelie. 2021. No. 5. P. 40–44. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-0-1-48.
8. Solonechny P. N. AMMI and GGE biplot analyses of genotype–environment interaction in spring barley lines // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017. Vol. 21. No. 6. P. 657–662. DOI: 10.18699/VJ17.283.
9. Gudzenko V. N. Statistical and graphical (GGE biplot) evaluation of the adaptive ability and stability of winter barley breeding lines // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019. Vol. 23. No. 1. P. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19.469.
10. Goncharov N. P., Kosolapov V. M. Plant breeding is the food security basis in the Russian Federation // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021. Vol. 25. No. 4. P. 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039.
11. Antonov S. A., Katorgin I. Yu. Mapping the characteristics of climate change in Stavropol Territory // InterCarto. InterGIS. 2021. Vol. 27. No. 3. P. 171–182. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-3-27-171-182.
12. Methods of state variety testing of agricultural crops. Issue I. General part. Moscow: FSBI “Gossortkomissiya”, 2019. 329 p.
13. Phytosanitary examination of grain crops. (Plant diseases): Recommendations // Under general editorship of Sanin S. S. Moscow: FSBI “Rosinformagrotekh”, 2002. 140 p.
14. Workshop on breeding and seed production of field crops: textbook // Under general editorship of Pylnev V. V. Saint-Petersburg: Publishing House “Lan”, 2014. 448 p.
15. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). 5th edition, revised and add. Moscow: Alliance, 2014. 351 p.

UDC 633.16 «321»:631.526.32

Sokolenko N. I.

‘EVSEI’ – NEW VARIETY OF SPRING BARLEY

Summary. *Spring barley is the most important fodder, food and technical crop cultivated in all parts of the Russian Federation. In the southern regions of the country, it is used as an insurance crop. High-yielding varieties, those that are better adapted to growing conditions, are especially in demand in production. Therefore, the creation of new varieties of spring barley, their comprehensive assessment and selection of the most promising ones is relevant. The purpose of these studies was to evaluate new variety of spring barley ‘Evsei’ according to traits that ensure its high yield and adaptability to cultivation conditions. This variety was created in the FSBSI “North Caucasian Federal Research Agrarian Center” in cooperation with “Agrostandart OOO” (Limited Liability Company) by the method of multiple individual selection from a hybrid population obtained from crossing varieties ‘Vikont 3’ and ‘Landora M’. In 2023, variety ‘Evsei’ was included in the State Register of breeding achievements of the Russian Federation and recommended for cultivation in the North Caucasian and Central Black Soil (Chernozem) Region. The research area is characterized by a temperate continental climate: Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) – 1.06; sum of effective temperatures during the year – 3177.2 °C; amount of precipitation – 559.6 mm. ‘Evsei’ was evaluated in the competitive variety testing in 2018–2020 according to the Methods of state variety testing; standard – drought-resistant spring barley variety ‘Odesskiy 22’. Preceding crop – bare fallow; seeding rate – 4 million grains per hectare. ‘Evsei’ is a mid-early variety (v. nutans), plant height = 68–75 cm; resistant to lodging. Drought resistance of the variety is higher than that of the standard. It is resistant to loose smut, barley scald (rhynchosporium), barley net blotch (no more than 3 % of plants are damaged) and relatively resistant to spot blotch of barley, powdery mildew (damage of up to 10 %). This is a high-yielding variety with a potential grain yield of 8 t/ha; for three years of competitive variety testing, it exceeded the standard, on average, by 0.69 t/ha. Protein content in grain – 13.0–14.6 %, grain is intended for fodder purposes.*

Keywords: *Hordeum distichum L., two-row barley, variety, yield, grain, trait, stability.*

Соколенко Нина Ивановна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории отдаленной гибридизации, ФГБНУ «Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр»; 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: sokolenko-sniish@mail.ru.

Sokolenko Nina Ivanovna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher at the Laboratory of distant hybridization, FSBSI “North Caucasian Federal Research Agrarian Center”; 49, Nikonova str., Mikhaylovsk, Shpakovskiy District, Stavropol Territory, 356241, Russia; e-mail: sokolenko-sniish@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 24.03.2023.

Дата принятия к печати – 13.07.2023

EDN RJJGNS

DOI 10.5281/zenodo.8272040

УДК (636.085.51:631.589.2):621.492

Соколенко О. Н., Буркова А. Г., Степанова В. В.

**К ВОПРОСУ ДИНАМИКИ ДВУХЪЯРУСНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ
ГИДРОПОННЫХ УСТАНОВОК С ЖЕСТКИМИ НЕСУЩИМИ
ЭЛЕМЕНТАМИ**

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

Реферат. Гидропонный зеленый корм (ГЗК) является высококачественной экологической продукцией, содержащей полный спектр требуемых питательных веществ и витаминов. В ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» разработана двухъярусная гидропонная установка с жесткими несущими элементами, используемая для выращивания ГЗК из зерна ячменя в фермерских (подсобных) животноводческих и птицеводческих хозяйствах. Опыт эксплуатации двухъярусных механических гидропонных установок с жесткими несущими элементами и лотками, вегетационная поверхность которых превышает $1,5 \text{ м}^2$, позволяет утверждать, что эти системы обладают определенными недостатками. В процессе разгрузки нижнего лотка вся система приводится в колебательное движение, что в свою очередь приводит к изгибу жестких несущих стержней. В гидропонных установках с вегетационной площадью не более $1,5 \text{ м}^2$ указанные несовершенства практически отсутствуют из-за малых масс и моментов инерции лотков. Несмотря на то, что эти установки отличаются простотой изготовления, исследование динамики таких систем не проводили. Целью исследований является определение прочностных и массовых комплексных соотношений, обеспечивающих устойчивую динамику движения всех элементов в процессе эксплуатации двухъярусной гидропонной установки, для исключения взаимного обмена энергиями движущихся масс системы. Экспериментальные исследования проводили в гидропонной лаборатории ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» в период с 2021 по 2022 гг. В процессе работы использовали основные положения высшей математики, динамики колебательных процессов, а также теоретической механики материальной точки и системы материальных тел. Получено решение системы дифференциальных уравнений динамики элементов установки (20). В результате экспериментальных исследований доказано, что максимальное отклонение центра масс системы «лоток-урожай-направляющие» не превышает 15 см. На основании теоретических исследований определено соотношение параметров рассматриваемой системы, при котором отсутствует явление биения. Длины несущих элементов не должны быть разными, а соотношение масс груженого и свободного лотков должно изменяться в пределах $0,15-0,25$.

Ключевые слова: двухъярусная механическая гидропонная установка, гидропонный зеленый корм (ГЗК), дифференциальные уравнения Лагранжа, динамика движения, несущие элементы.

Для цитирования: Соколенко О. Н., Буркова А. Г., Степанова В. В. К вопросу динамики двухъярусных механических гидропонных установок с жесткими несущими элементами // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С.117–126. EDN: RJJGNS. DOI 10.5281/zenodo.8272040.

For citation: Sokolenko O. N., Burkova A. G., Stepanova V. V. On the issue of dynamics of two-tier mechanical hydroponic systems with rigid load-carrying components // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 117–126. EDN: RJJGNS. DOI 10.5281/zenodo.8272040.

Введение

Основой продовольственной безопасности страны является продукция птицеводческой и животноводческой отраслей АПК, поэтому особое внимание следует уделять обеспечению сбалансированных кормовых рационов сельскохозяйственных животных [1, 2].

Гидропонный зеленый корм (ГЗК) – высококачественная экологическая продукция, содержащая полный спектр требуемых питательных веществ и витаминов [3, 4]. В ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» разработана двухъярусная гидропонная установка с жесткими несущими элементами. Опыт эксплуатации двухъярусных механических гидропонных установок с жесткими несущими элементами и лотками, вегетационная поверхность которых превышает $1,5 \text{ м}^2$, позволяет утверждать, что эти системы обладают определенными недостатками [1, 2].

В процессе разгрузки нижнего лотка вся система установки приводится в колебательное движение. Плоские шарнирные соединения жестких несущих элементов с лотками и точкой подвеса установки исключают податливость всей системы в горизонтальной и одной из вертикальных плоскостей. Отсутствие податливости приводит к изгибу жестких несущих стержней (арматурных прутков диаметром 5–6 мм). Последнее вызывает перед следующей закладкой исходного материала для проращивания дополнительные ремонтные работы с предварительным демонтажом установки [2, 5].

В гидропонных установках с вегетационной площадью не более $1,5 \text{ м}^2$ указанные несовершенства практически отсутствуют из-за малых масс и моментов инерции лотков [5]. Однако исследование динамики таких систем не проводилось несмотря на то, что эти установки отличаются простотой изготовления и наиболее приемлемы для оборудования гидропонных цехов в фермерских хозяйствах. Более того, двухъярусные установки с жесткими несущими элементами значительно дешевле аналогичных с упругими несущими канатами того же диаметра [1, 2, 5].

Цель исследований – определение прочностных и массовых комплексных соотношений, обеспечивающих устойчивую динамику движения всех элементов в процессе эксплуатации двухъярусной гидропонной установки, для исключения взаимного обмена энергиями движущихся масс системы.

Материалы и методы исследований

Экспериментальные исследования проводили в гидропонной лаборатории ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» в период с 2021 по 2022 гг.

В процессе определения прочностных и массовых комплексных соотношений, обеспечивающих устойчивую динамику движения всех элементов системы в процессе эксплуатации двухъярусной гидропонной установки, использовали основные положения высшей математики, динамики колебательных процессов, а также теоретической механики материальной точки и системы материальных тел [6–9].

Результаты и их обсуждение

Для исследования динамики двухъярусной установки с лотками специальной конструкции рассмотрим механическую модель, представленную на рисунке 1 *а*. Расчётная схема установки при разгрузке нижнего лотка представлена на рисунке 1 *б*, где L и l соответственно длины несущих элементов, M – масса верхнего лотка с урожаем и направляющими, m – масса нижнего лотка с направляющими. Поместим начало осей координат в точку подвеса системы O . Направление осей (x , y) показано на рисунке 1 *б*.

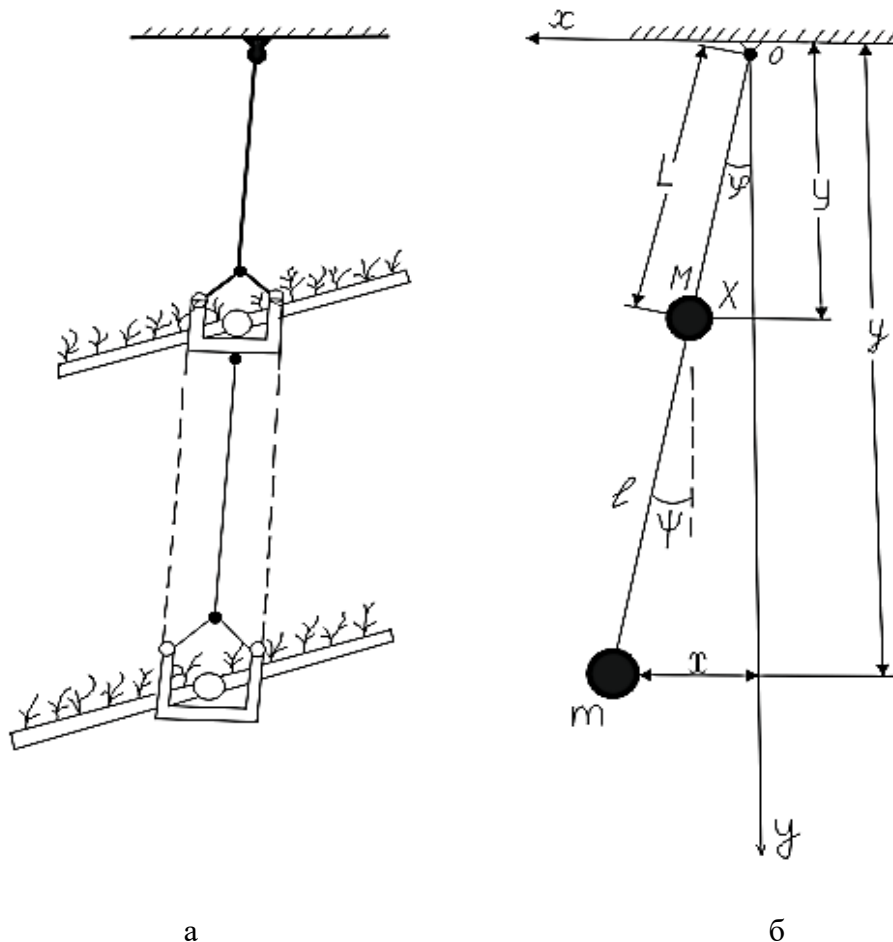


Рисунок 1 – Схема к моделированию двухъярусной механической гидропонной установки

Примечание: а – механическая модель; б – расчетная модель.

Для вывода дифференциальных уравнений движения системы воспользуемся уравнениями Лагранжа второго рода в виде [6, 7]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0, \quad (1)$$

где $L = T - \Pi$ – функция Лагранжа;

T и Π – кинематическая и потенциальная энергии системы соответственно;

q_i и \dot{q}_i – обобщенные координаты и обобщенные скорости.

В качестве обобщенных координат приняты углы отклонения от вертикальной оси φ и Ψ .

Тогда будут справедливы следующие соотношения:

$$\begin{cases} X = L \sin \varphi, & x = L \sin \varphi + l \sin \Psi, \\ Y = L \cos \varphi, & y = L \cos \varphi + l \sin \Psi. \end{cases} \quad (2)$$

Кинетическая и потенциальная энергии рассматриваемой системы соответственно равны:

$$\begin{cases} T = \frac{M}{2}(\dot{X}^2 + \dot{Y}^2) + \frac{m}{2}(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) = \frac{m}{2}l^2\dot{\Psi}^2 + mL \cos(\varphi - \Psi) \dot{\varphi}\dot{\Psi} + \frac{M+m}{2}L^2\dot{\varphi}^2, \\ \Pi = -mgy - MgY = -mgl \cos \Psi - (M+m)gL \cos \varphi = 0. \end{cases} (3)$$

Подставив системы уравнений (2) и (3) в уравнение Лагранжа (1), получим нелинейную систему дифференциальных уравнений движения рассматриваемой установки в форме Лагранжа второго рода:

$$\begin{cases} \ddot{\varphi} + \frac{ml}{(M+m)L} \ddot{\Psi} \cos(\varphi - \Psi) - \frac{ml}{M+m} \dot{\Psi}^2 \sin(\varphi - \Psi) + \frac{g}{L} \sin \varphi = 0, \\ \ddot{\Psi} + \frac{L}{l} \ddot{\varphi} \cos(\varphi - \Psi) - \frac{L}{l} \dot{\varphi}^2 \sin(\varphi - \Psi) + \frac{l}{g} \sin \Psi = 0. \end{cases} (4)$$

Исследования показали, что при соблюдении технологии закладки замоченного зерна в лотки 5,5 кг/м² (вегетационная площадка лотков 1,5 м²) урожай зеленой массы составляет 55 кг с одного квадратного метра [1, 2, 5]. Разгрузка урожая производилась на восьмые сутки. В ходе проводимых экспериментов непосредственными замерами устанавливали отклонение центра масс нижнего лотка от вертикали. Это отклонение изменялось в пределах 14–16 см при длине жестких несущих стержней 0,85 м. Верхний груженный ярус с длиной несущего элемента 0,70 м отклонился меньше чем на 14 см. Полученные результаты экспериментов дают основание принять углы отклонения φ и Ψ малыми. Следовательно, система уравнений (4) принимает вид:

$$\begin{cases} \ddot{\varphi} + \frac{ml}{(M+m)l} \ddot{\varphi} + \frac{g}{L} \varphi = 0 \\ \ddot{\Psi} + \frac{L}{l} \ddot{\varphi} + \frac{g}{l} \Psi = 0. \end{cases} (5)$$

В полученной системе линейных дифференциальных уравнений (5) положено:

$$\varphi = \frac{X}{L}, \quad \Psi = \frac{x-X}{l}, \quad (6)$$

Тогда, подставив (6) в (5), получим систему уравнений относительно линейных координат X и x в виде:

$$\begin{cases} \ddot{X} + K_1^2 X - \alpha x = 0 \\ \ddot{x} + K_2^2 x - K_2^2 X = 0, \end{cases} (7)$$

где $K_1^2 = \frac{g}{L} + \left(1 + \frac{m}{M}\right) + \frac{mg}{Ml}$, $\gamma = \frac{mg}{Ml}$, $K_2^2 = \frac{g}{l}$.

Последнее преобразование будет справедливым, когда $\frac{m}{M} > 1$ и $L < l$, что отвечает конструктивным параметрам реальных двухъярусных установок при разгрузке урожая. Полагая, что $L < l$, вводим обозначения $\frac{g}{L} = \omega_0^2$. Тогда системы уравнений (7) примут вид:

$$\begin{cases} \ddot{X} + \left(2\frac{m}{M} + 1\right) \omega_0^2 X - \frac{m}{M} \omega_0^2 x = 0 \\ \ddot{x} + \omega_0^2 x = \omega_0^2 X. \end{cases} (8)$$

Решение полученной системы уравнений будет в виде [6, 7]:

$$X = B e^{i\lambda t}, \quad x = A e^{i\lambda t}, \quad \text{где } i = \sqrt{-1}. \quad (9)$$

Подстановка уравнений (9) в (8) дает возможность получить следующую систему алгебраических уравнений для определения λ :

$$\begin{cases} (\omega_0^2 - \lambda^2)A - \omega_0^2 B = 0 \\ -\frac{m}{M}\omega_0^2 A + \left[\left(1 + 2\frac{m}{M}\right)\omega_0^2 - \lambda^2\right] = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Преобразуем полученную систему (10) в квадратное уравнение относительно λ^2 , раскрыв ее определитель, в виде:

$$(\lambda^2 - \omega_0^2)^2 + 2\frac{m}{M}\omega_0^2(\omega_0^2 - \lambda^2) - \frac{m}{M}\omega_0^4 = 0. \quad (11)$$

Корни этого уравнения с достаточной для практики точностью будут равны:

$$\omega = \lambda = \omega_0 \left(1 + \sqrt{\frac{m}{4M}}\right), \quad (12)$$

$$\omega_1 = \lambda_1 = \omega_0 \left(1 - \sqrt{\frac{m}{4M}}\right). \quad (13)$$

Общее решение исходной системы (7) может быть записано в следующей форме:

$$x = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t + C'_1 \cos \omega_1 t + C'_2 \sin \omega_1 t, \quad (14)$$

$$X = \beta C_1 \cos \omega t + \beta C_2 \sin \omega t + \beta' C'_1 \cos \omega_1 t + \beta' C'_2 \sin \omega_1 t. \quad (15)$$

Величины β и β' являются значениями отношения $\frac{B}{A}$, которые получаются из уравнений (12, 13) после подстановки в них $\lambda^2 = \omega^2$ и $\lambda^2 = \omega_1^2$. На основании вышесказанного получаем:

$$\beta = -\sqrt{\frac{m}{M}}, \quad \beta' = \sqrt{\frac{m}{M}}. \quad (16)$$

Для определения произвольных постоянных C_1, C_2, C'_1 и C'_2 следует ввести начальные условия. При $t = 0$ $x = x_0, X = 0, \dot{x} = 0, \dot{X} = 0$, что соответствует реальной системе, то есть, в начальный момент времени центр масс нижнего лотка с урожаем сместился на x_0 в сторону опрокидывания и произошла разгрузка урожая. Центр масс верхнего лотка при $t = 0$ остался неподвижным. Учитывая сказанное, для определения произвольных постоянных получены следующие соотношения:

$$\begin{cases} x_0 = C_1 + C'_1 \\ 0 = \beta C_1 + \beta' C'_1 \end{cases} \quad \begin{cases} 0 = C_2 \omega + C'_2 \omega_1 \\ 0 = \beta C_2 \omega + \beta' C'_2 \omega_1 \end{cases}. \quad (17)$$

Полученные соотношения позволяют определить неизвестные величины:

$$C_1 = -\frac{x_0 \beta'}{\beta - \beta'}, \quad C'_1 = \frac{x_0 \beta}{\beta - \beta'}, \quad C_2 = C'_2 = 0. \quad (18)$$

Окончательно решение исходной системы уравнений (7) может быть записано в виде:

$$\begin{cases} x = \frac{x_0\beta'}{\beta-\beta'} \cos \omega t + \frac{x_0\beta}{\beta-\beta'} \cos \omega_1 t \\ X = \frac{\beta\beta'x_0}{\beta-\beta'} \cos \omega t + \frac{\beta\beta'x_0}{\beta-\beta'} \cos \omega_1 t, \end{cases} \quad (19)$$

или

$$\begin{cases} x = \frac{x_0}{\beta-\beta'} (\beta \cos \omega_1 t - \beta' \cos \omega t) \\ X = \frac{\beta\beta'x_0}{\beta-\beta'} (\cos \omega_1 t - \cos \omega t). \end{cases} \quad (20)$$

Следует отметить, что при $\frac{m}{M} \gg 1$ значение ω близко к ω_1 , что возбуждает в системе характер «биения» [8–9].

Закон движения верхнего лотка с урожаем и направляющими $X = X(t)$ представим в форме:

$$X = \frac{\beta\beta'x_0}{\beta-\beta'} (\cos \omega_1 t - \cos \omega t) = 2 \frac{\beta\beta'x_0}{\beta-\beta'} - \sin \frac{\omega_1-\omega}{2} t \cdot \sin \frac{\omega_1+\omega}{2} t. \quad (21)$$

Значения $\sin \frac{\omega_1-\omega}{2} t$ будут равны 0 в том случае, если будет выполняться равенство:

$$\frac{\omega_1-\omega}{2} t = \pi n, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (22)$$

или в момент времени:

$$t = \frac{2\pi n}{\omega_1-\omega}. \quad (23)$$

Нижний лоток будет возвращаться в положение равновесия, тогда как верхний – стремиться к максимальному отклонению. Таким образом, при близости значений ω_1 и ω происходит взаимный обмен энергиями движущихся масс системы [8, 9]. На рисунке 2 представлен характер изменения движения масс верхнего и нижнего ярусов с течением времени.

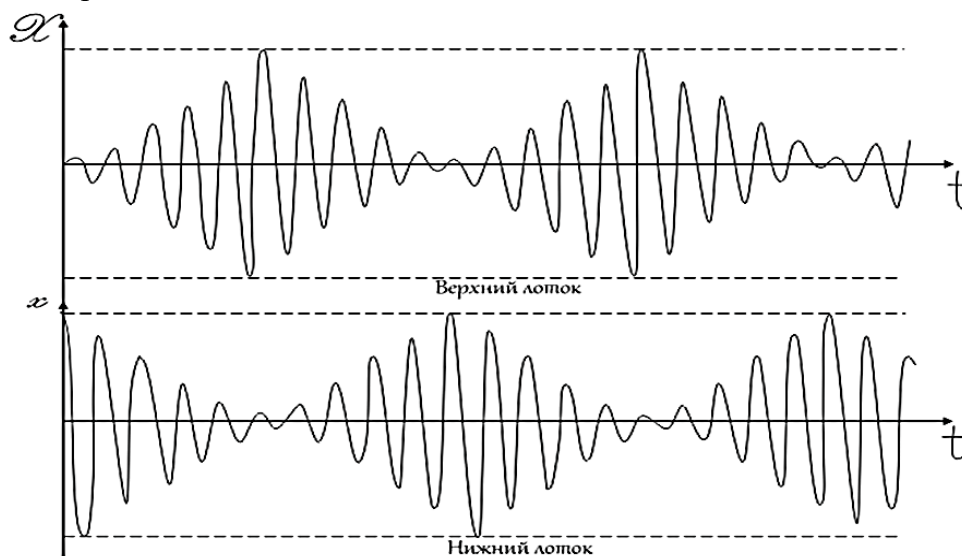


Рисунок 2 – Изменение закона движения верхнего и нижнего лотков с течением времени

Избежать указанного явления можно путем вариации массовых и геометрических параметров установки, то есть длины несущих элементов не должны быть разными, а соотношение масс груженого и свободного лотков должно изменяться в пределах 0,15–0,25. Существенную роль играют начальные условия. Графики, изображенные на рисунке 2, получены при следующих геометрических и массовых характеристиках: $L = \ell = 1\text{м}$, $\frac{m}{M} = 0,5$.

Определение усилий в нижнем и верхнем стержнях производится по известным методикам [6, 7]. Усилие в нижнем несущем стержне S может быть определено при малых отклонениях масс по следующей формуле:

$$S \approx mg \cos \psi. \quad (24)$$

Усилия в верхнем несущем элементе определяются исходя из дифференциальных уравнений несвободного движения материальной точки или принципа Даламбера [6, 7]. Рассмотрим расчетную схему, изображенную на рисунке 3.

Связываем с движущейся точкой подвижной оси координат τ и n , обозначив все заданные силы Mg , а также и неизвестное натяжение (усилие в стержне) S и S_1 .

Согласно принципу Даламбера введены касательная Φ^τ и нормальная Φ^n силы инерции. Эти силы направлены как указано на рисунке 3, то есть в противоположную сторону к векторам истинных ускорений точки \bar{a}^r и \bar{a}^n в данный момент времени. Величины нормальной и касательной сил инерции будут равны соответственно:

$$\Phi^n = M \frac{V^2}{L}, \quad \Phi^\tau = M \frac{dV}{dt}, \quad (25)$$

где V – скорость движения центра масс лотка с урожаем и направляющими. За эту скорость можно принять скорость движения оси сектора лотка. Проектируя все силы на ось n , получаем:

$$S_1 = Mg \cos \varphi + S \cos(\Psi - \varphi) + M \frac{V^2}{L}. \quad (26)$$

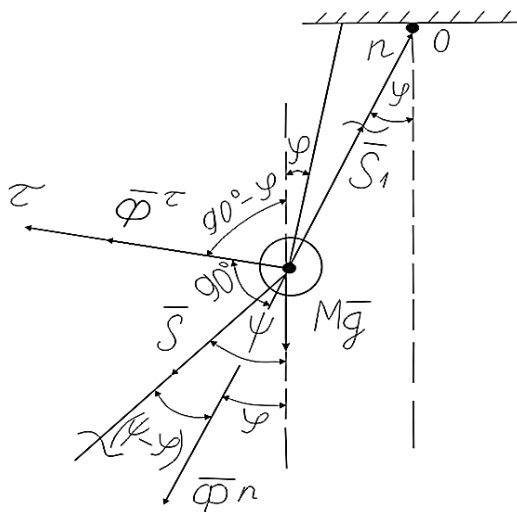


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения усилий в стержнях

Скорость движения V с достаточной для практики точностью можно определить как $V = \frac{dX}{dt}$ или составить дифференциальное уравнение движения центра масс в проекции на ось τ , что дает:

$$\Phi^\tau + S \sin(\Psi - \varphi) - Mg \sin \varphi = 0, \quad (27)$$

или

$$M \frac{dV}{dt} = Mg \sin \varphi + S \sin(\Psi - \varphi). \quad (28)$$

Учитывая, что углы отклонения масс малы, определение усилия S_1 в верхнем несущем стержне не представляет принципиальных трудностей. Таким образом, определив величину S и скорость V , можно определить S_1 .

На основании приведенных теоретических исследований при реальных массовых и геометрических параметрах $M = 96$ кг, $m = 15,2$ кг, $l = 0,85$ м, $L = 0,75$ м динамические усилия в жестких несущих элементах превосходят статические на 12–15 %. Если учесть, что установка работает в квазистатическом режиме, то запас прочности несущих элементов не должен превышать $n = 2 - 2,5$ [9]. Используемые в качестве несущих элементов арматурные прутки диаметром 4 – 5 мм имеют запас прочности для установок с площадью посева $1,5 \text{ м}^2$ $n = 12 - 15$. Такие соотношения запасов прочности приемлемы только в тех случаях, когда не представляется возможным заменить имеющиеся позиции несущих элементов другими.

Выводы

Выведены и получены решения дифференциальных уравнений динамики элементов двухъярусной гидропонной установки с жесткими несущими стержнями (система уравнений 20).

Экспериментально доказано, что в процессе эксплуатации двухъярусной гидропонной установки с жесткими несущими стержнями, максимальное отклонение центра масс системы «лоток-урожай-направляющие» не превышает 15 см.

Избежать явления биения можно путем вариации массовых и геометрических параметров установки, то есть длины несущих элементов не должны быть разными, а соотношение масс груженого и свободного лотков должно изменяться в пределах 0,15–0,25.

На основании приведенных теоретических исследований при реальных массовых и геометрических параметрах ($M = 96$ кг, $m = 15,2$ кг, $l = 0,85$ м, $L = 0,75$ м) динамические усилия в жестких несущих элементах превосходят статические на 12–15 %, а запас прочности несущих элементов не должен превышать $n = 2 - 2,5$.

Литература

1. Курасов В. С., Соколенко О. Н. К вопросу обоснования конструктивных параметров механической установки с упруго-жесткими несущими элементами // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ. 2016. № 4 (118). С. 1037–1049.
2. Кругляков Ю. А. Оборудование для непрерывного выращивания зеленого корма гидропонным способом. М.: ВО Агропромиздат, 1991. С. 5–24.
3. Васильев А. А., Москаленко С. П., Сивохина Л. А., Коробов А. П., Кузнецов М. Ю. Эффективность использования гидропонного зеленого корма в рационах поросят-отъемышей // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы сельскохозяйственных наук в России и за рубежом». № 2. Новосибирск: ИНЦРОН, 2015. С. 42.
4. Сенько А. Я., Кудинов В. В., Корнилова В. А. Химический состав яиц в зависимости от скармливания зеленого гидропонного корма // Сборник научных трудов «Актуальные проблемы и перспективы развития животноводства». Самара: ГСХА, 2002. С. 101–103.
5. Соколенко О. Н. К вопросу динамики движения одноярусной гидропонной установки с упруго-жесткими несущими элементами // Вестник АПК Ставрополя. 2017. №2 (26). С. 40–43.

6. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. М.: Высшая школа, 2010. С. 232–250.
7. Барбашова Т. Ф. Кугушев Е. И., Попов Т. В. Теоретическая механика в задачах. Лагранжева механика. Гамильтонова механика. М.: МЦНМО, 2013. С. 7–186.
8. Ланда П. С. Нелинейные колебания и волны. М.: Наука, Физматлит, 2019. 153–169.
9. Бутенин Н. В. Введение в теорию нелинейных колебаний. М.: Наука, 1987. С. 200–218.

References

1. Kurasov V. S., Sokolenko O. N. On the issue of substantiation of the design specifications on mechanical system with rigid elastic load-carrying components // Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2016. No. 4 (118). P. 1037–1049.
2. Kruglyakov Yu. A. Equipment for the continuous cultivation of green fodder in the hydroponic way. Moscow: Agropromizdat, 1991. P. 5–24.
3. Vasiliev A. A., Moskalenko S. P., Sivokhina L. A., Korobov A. P., Kuznetsov M. Yu. Efficiency of using hydroponic green fodder in diets of weaned piglets // International Scientific and Practical Conference “Actual problems of agricultural sciences in Russia and abroad”. No. 2. Novosibirsk: Innovative Development Center of Education and Science (IDCES), 2015. P. 34–45.
4. Senko A. Ya., Kudinov V. V., Kornilova V. A. Chemical composition of eggs depending on the feeding of hydroponic green fodder // Collection of scientific papers “Actual problems and prospects for the development of animal husbandry”. Samara: Samara State Agricultural Academy, 2002. P. 101–103
5. Sokolenko O. N. On the issue of movement dynamics of the one-tier hydroponic system with rigid elastic load-carrying components // Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2017. No. 2 (26). P. 40–43.
6. Targ S. M. Short course of theoretical mechanics. Moscow: Vysshaya Shkola, 2010. P. 232–250.
7. Barbashova T. F. Kugushev E. I., Popov T. V. Theoretical mechanics in tasks. Lagrangian mechanics. Hamiltonian mechanics. Moscow: MCCME (Moscow Center for Continuous Mathematical Education), 2013. P. 7–186.
8. Landa P. S. Nonlinear vibrations and waves. Moscow: Nauka, Fizmatlit, 2019. P. 153–169.
9. Butenin N. V. Introduction to the theory of non-linear oscillations. Moscow: Nauka, 1987. P. 200–218.

UDC (636.085.51:631.589.2):621.492

Sokolenko O. N., Burkova A. G., Stepanova V. V.

ON THE ISSUE OF DYNAMICS OF TWO-TIER MECHANICAL HYDROPONIC SYSTEMS WITH RIGID LOAD-CARRYING COMPONENTS

Summary: *Hydroponic green fodder (HGF) is a high-quality ecological product containing a full range of required nutrients and vitamins. A two-tier hydroponic system with rigid load-carrying components was developed at Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin. This system can be used for producing HGF from barley grain in individual subsidiary farms of livestock and poultry growing direction. Our operating experience has shown that two-tier mechanical hydroponic systems with rigid load-carrying components and trays, the vegetation surface of which exceeds 1.5 m², have some disadvantages. In the process of unloading the bottom tray, the whole system is driven into oscillating motion, which in turn leads to bending of the rigid support rods. In hydroponic systems with trays, the vegetation surface of which does not exceed 1.5 m², these disadvantages are practically absent owing to their small mass and, therefore, moments of trays inertia. Although these systems are easy and simple in production, their dynamics have not been studied. The purpose of the research was to determine the strength and mass complex ratios that ensure stable dynamics of movement of all elements during the operation of a two-tier hydroponic system in order to exclude the mutual exchange of energies of the moving masses. Experiments and studies were carried out in the Hydroponic Laboratory of the Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin from 2021 to 2022. During work, along with the basic principles of higher mathematics and dynamics of oscillatory processes, we used theoretical mechanics of a material point and a system of material bodies. The solution of the system of differential equations of the system elements*

dynamics was obtained (20). As a result of experimental studies, it was proved that the maximum deviation of the center of mass of the system “tray-crop-guides” did not exceed 15 cm. Based on theoretical studies, the ratio of the parameters of the system, in which there was no beating phenomenon, was determined. The lengths of the load-carrying components should not differ, and the mass ratio of the loaded and empty trays should vary within 0.15–0.25.

Keywords: *two-tier mechanical hydroponic system, hydroponic green fodder (HGF), Lagrange differential equations, motion dynamics, load-carrying components.*

Соколенко Оксана Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов, автомобилей и технической механики, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина,13; e-mail: sokolenko.oksana@mail.ru.

Буркова Анастасия Георгиевна, студент третьего курса факультета механизации ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; e-mail: an-burkova03@yandex.ru.

Степанова Виктория Вячеславовна, студент третьего курса факультета механизации ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина,13; e-mail: vichka_stepanova_0300@mail.ru.

Sokolenko Oksana Nikolaevna, Cand. Sc. (Tech.), assistant professor of the Department of tractors, cars and technical mechanics, FSBEI HE “Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin”; 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia; e-mail: sokolenko.oksana@mail.ru.

Burkova Anastasia Georgievna, 3rd year student of the faculty of mechanization, FSBEI HE “Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin”; 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia; e-mail: an-burkova03@yandex.ru.

Stepanova Viktoriya Vyacheslavovna, 3rd year student of the faculty of mechanization, FSBEI HE “Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin”; 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia; e-mail: vichka_stepanova_0300@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 04.06.2023.

Дата принятия к печати – 13.07.2023

EDN XXGYGY

DOI 10.5281/zenodo.8272074

УДК 633.432; 632.3.01/08

Соколова Л. М.

СОЗДАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОЛЕРАНТНЫХ ГЕТЕРОЗИСНЫХ ГИБРИДОВ МОРКОВИ СТОЛОВОЙ

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»

Реферат. Морковь столовая или культурная (*Daucus carota* L. subsp. *sativus* (Hoffm.) Arcang.) ($2n=2x=18$) входит в десятку наиболее производимых овощных культур в мире. Особое внимание при создании гибридов моркови столовой стоит уделить устойчивости к комплексу наиболее вредоносных патогенов из родов *Alternaria* и *Fusarium*. Использование гетерозисной продукции у овощных и бахчевых культур является прогрессивным направлением селекции, дающим возможность значительно повысить урожайность культуры. Морковь среди овощных культур наименее изучена в отношении гетерозиса. Скрещивание в пределах одного сортогруппы не дает значительного гетерозисного эффекта по продуктивности, зато гибриды отличаются выравненностью и высоким качеством корнеплодов. Цель исследований – создать конкурентноспособные гетерозисные гибриды F1 моркови столовой на основе комплекса селекционно-иммунологических методов, которые будут обладать толерантностью к *Fusarium oxysporum*, *Alternaria radicina* и *Alternaria dauci*. Исследования проводят по общепринятым методикам во Всероссийском научно-исследовательском институте овощеводства – филиале ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» с 2007 г. и по настоящее время. В статье показаны результаты исследований с 2011 по 2019 гг. В ходе многолетнего разностороннего исследования устойчивости и влияния фактора агроклиматического года выявлены относительно устойчивые гибридные комбинации: МС 1-1×1268, 22×1268, К45×1268. Данные образцы имеют выход товарных корнеплодов после семи месяцев хранения от 75 % до 95 %. Также выявлена высокая сохраняемость маточников (корнеплодов) – от 85 % до 87 %. После некоторых уточнений данные комбинации планируется передать на испытание для дальнейшего включения в Государственный реестр селекционных достижений.

Ключевые слова: морковь столовая (*Daucus carota* L. subsp. *sativus* (Hoffm.) Arcang.), гетерозис, селекция, *Fusarium*, *Alternaria*, линии, гибриды.

Для цитирования: Соколова Л. М. Создание перспективных толерантных гетерозисных гибридов моркови столовой // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 127–135. EDN: XXGYGY. DOI 10.5281/zenodo.8272074.

For citation: Sokolova L. M. Creation of promising heterosis hybrids of table carrot // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 127–135. EDN: XXGYGY. DOI 10.5281/zenodo.8272074.

Введение

Морковь столовая или культурная (*Daucus carota* L. subsp. *sativus* (Hoffm.) Arcang.) ($2n=2x=18$) входит в десятку наиболее производимых овощных культур в мире [1]. По данным «АБ-Центр», урожайность моркови в 2022 г. во всех категориях хозяйств составила 149,1 тыс./га, из которых 78,1 тыс. га являются землями фермерских хозяйств и сельскохозяйственных предприятий.

Использование гетерозисной продукции у овощных и бахчевых культур является прогрессивным направлением селекции, дающим возможность значительно повысить урожайность культуры. Гетерозисную продуктивность необходимо

сочетать с комплексом биологических и других качественных хозяйственно ценных признаков (скороспелостью, биохимическим составом, технологическими и вкусовыми показателями, транспортабельностью, лёжкостью, иммунитетом). По качественным показателям гетерозисные гибриды должны или не уступать лучшим районированным сортам аналогичного типа использования, или превышать их [2].

Морковь среди овощных культур наименее изучена в отношении гетерозиса. Скрещивание в пределах одного сортотипа не дает значительного гетерозисного эффекта по продуктивности, зато гибриды отличаются выравненностью и высоким качеством корнеплодов [3].

В гетерозисной селекции моркови используют два типа стерильности: браун и петалоид. Растения с типом стерильности браун при цветении образуют недоразвитые тычинки с коричневыми пыльниками, лишённые фертильной пыльцы, а растения с типом петалоид – цветки почти махровые и тычинок не имеют. Наиболее стабилен петалоидный тип стерильности [4].

Особое внимание при создании гибридов моркови столовой стоит уделить устойчивости к комплексу наиболее вредоносных патогенов из родов *Alternaria* и *Fusarium*, так как болезни, вызванные данными грибными патогенами, являются основными причинами потери урожая, также они могут ухудшить качество продукции и стабильность производства. Хорошо налаженная схема селекции в течение длительного времени позволяет разработать толерантные и/или устойчивые сорта ценных продовольственных культур [5, 6].

Alternaria dauci (J.G. Kühn) Groves et Skolko развивается на листовой поверхности, является одним из самых вредных патогенов – потери урожая могут достигать от 40 до 90 % [7].

Род *Fusarium* включает в себя ряд видов, являющихся причинами различных заболеваний культур, поражает сосудистую систему растений, вызывает болезни увядания [8].

Основным направлением гетерозисной селекции на устойчивость является отбор устойчивых генотипов. Поэтому при отборе исходного материала важно учитывать видовую и внутривидовую структуру популяций возбудителя, генетическую и экологическую дифференциацию.

Таким образом, залогом эффективности гетерозисной селекции является комплексный подход в создании новых сортов и гибридов моркови столовой, которые будут отвечать современным требованиям рынка.

Цель исследований – создать конкурентно способные гетерозисные гибриды F1 моркови столовой на основе комплекса селекционно-иммунологических методов, которые будут обладать толерантностью к *Fusarium oxysporum*, *Alternaria radicina* и *Alternaria dauci*.

Материалы и методы исследований

Исследования проводят в лаборатории корнеплодных культур и лука (Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиала ФГБНУ ФНЦО)) с 2007 г. и по настоящее время. В статье показаны результаты исследований с 2011 по 2019 гг. Для ведения селекционной работы по устойчивости в 2007 г. были созданы два искусственных инфекционных фона на специально отведенном участке в селекционном центре ВНИИО – филиала ФГБНУ ФНЦО, на которых проходит ежегодная оценка толерантности исходного, селекционного и гибридного материала. На данных участках при посеве каждый год в почву вносят почвенные патогены *Fusarium oxysporum* и *Alternaria radicina*, размноженные на зерне овса. Также в период первого года вегетации моркови столовой осуществляется опрыскивание по листовому аппарату суспензией спор *Fusarium oxysporum* и *Alternaria dauci*.

Для контроля заражения микозами по сравнению с инфекционными фонами морковь столовая высевается в неконтролируемых условиях на полях селекционного севооборота «естественный фон». Поля селекционного севооборота «естественный фон» расположены в Раменском районе Московской области, в центральной части поймы реки Москва. Почва аллювиально-луговая, среднесуглинистая. На данных участках испытывают селекционный и новый гибридный материал моркови столовой, а также проводят всю морфологическую и биометрическую оценку.

Исследования проводили по следующим методикам: учеты интенсивности проявления болезней [9, 10]; выделение патогенов из растительного материала [11, 10]; искусственное заражение путём опрыскивания листовых пластин [12, 10], оценку устойчивости растений первого года осуществляли на двух искусственных инфекционных фонах *Fusarium* и *Alternaria* [10].

Для гибридизации растений второго года вегетации использовали каркасные сетчатые изоляторы диаметром 0,5 м. Для опыления использовали синих мясных мух (*Calliphora uralensis* Villeneuve) [13].

Результаты и их обсуждение

При создании устойчивых к болезням гибридов F₁ моркови большую роль играет подбор родительских форм. Основные критерии отбора – урожайность, товарность, устойчивость к комплексу болезней.

Для создания новых отечественных гибридов в селекционную работу были вовлечены толерантные линии ♀ «А», ♂ «С» и закрепитель «В» селекции ВНИИО, которые относятся к сорто типу Берликум/Нантская.

Оценку толерантности на двух искусственных инфекционных фонах и в естественных неконтролируемых условиях проводили на протяжении шести вегетационных лет (культура двулетняя). Объективная оценка толерантности (устойчивости) к двум патогенам складывалась в зависимости от фактора агроклиматических показателей года. На рисунках 1–4 показаны агроклиматические показатели годов исследований (средние показатели за период вегетации с мая по сентябрь) и влияние данных показателей на распространенность и толерантность четырех изучаемых родительских форм.

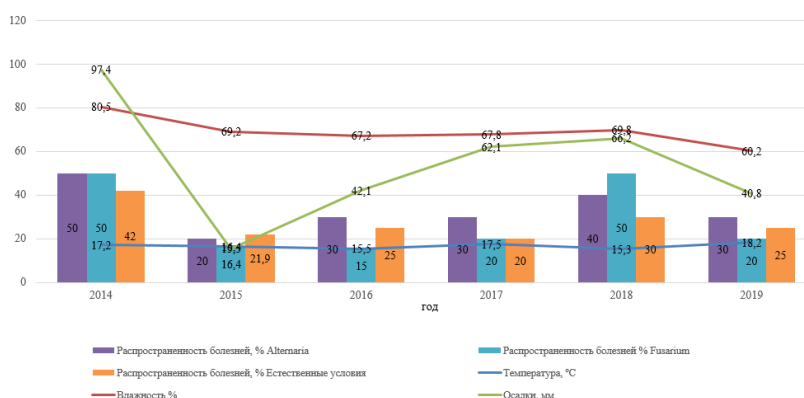


Рисунок 1 – Зависимость распространенности альтернариоза и фузариоза у ♀ линии 22 от агроклиматических показателей года

Так, в исходный 2014 г. у линии ♀22 распространенность болезней на двух искусственных инфекционных фонах *Alternaria* и *Fusarium* составила 50 %. На естественном неконтролируемом фоне распространенность патоконплекса микромицетов составила 42 %, что обусловлено агроклиматическими показателями года – повышенной влажностью воздуха – 80 % и обильными осадками – 97,4 мм.

В 2019 г. данный образец входит в группу слабовосприимчивых. Благодаря последовательному отбору устойчивых генотипов проводимого на линии 22 нам удалось снизить распространенность альтернариоза до 30 %, фузариоза – до 20 % и общего патогенеза на естественном неконтролируемом фоне – до 25 %.



Рисунок 2 – Зависимость распространенности альтернариоза и фузариоза у ♂ линии MS 1-1 от агроклиматических показателей года

Менее устойчива за все года исследований оказалась линия MS 1-1. Так в 2014 г. распространенность альтернариоза составила 70 %, фузариоза – 65 %, а на естественном фоне – 55 %.

В 2019 г. распространенность болезней на искусственных инфекционных фонах составила: альтернариоза – 65 %, фузариоза – 60 %. На естественном неконтролируемом фоне – 40 %. Данный образец характеризуется как средневосприимчивый.

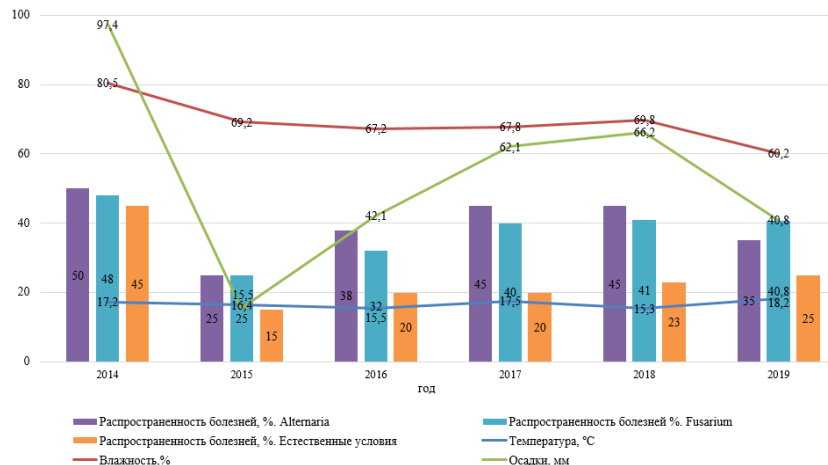


Рисунок 3 – Зависимость распространенности альтернариоза и фузариоза у ♀ линии 1268 от агроклиматических показателей года

У отцовской формы 1268 при проведении последовательного отбора в зависимости от фактора года устойчивость возрастала быстрее, чем у материнских форм. Так, рост устойчивости был заметен уже на проведении третьего отбора в условиях 2016 г. и удержался на протяжении последующих годов оценки.

На рисунке 4 представлена оценка материнской формы линии K45 в зависимости от фактора года. Данная линия в исходный 2014 г. и последующие года исследований характеризовалась как слабовосприимчивая.

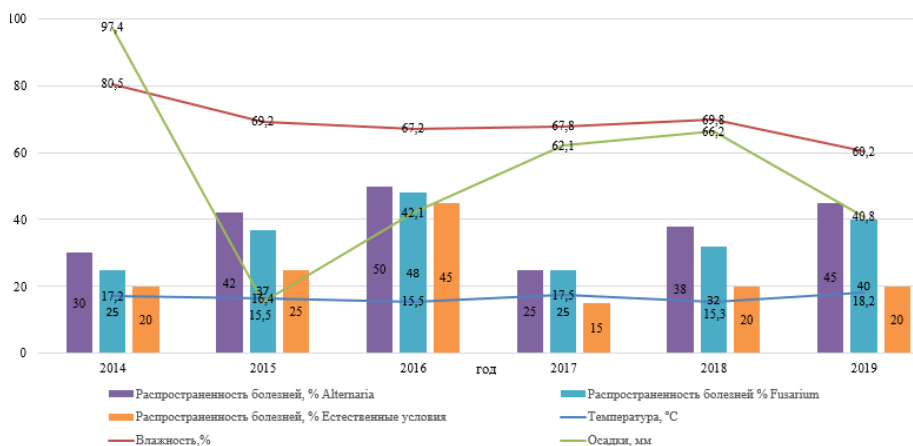


Рисунок 4 – Зависимость распространенности альтернариоза и фузариоза у ♀ линии К45 от агроклиматических показателей года

Так, распространенность альтернариоза в 2014 г. составила 22,1 %, а в 2019 г. данный показатель возрос до 35,4 %, что связано с комфортной температурой (20,1°C) и относительно умеренной влажностью (60 %). По фузариозу показатели были в пределах от 21,2 до 20,1 % соответственно. На естественном фоне распространение комплекса микозов составило 20,2 % в 2014 г. и 17,2 % в 2019 г.

На рисунках 5 и 6 представлены данные по варьированию толерантности гибридных комбинаций в зависимости от года.

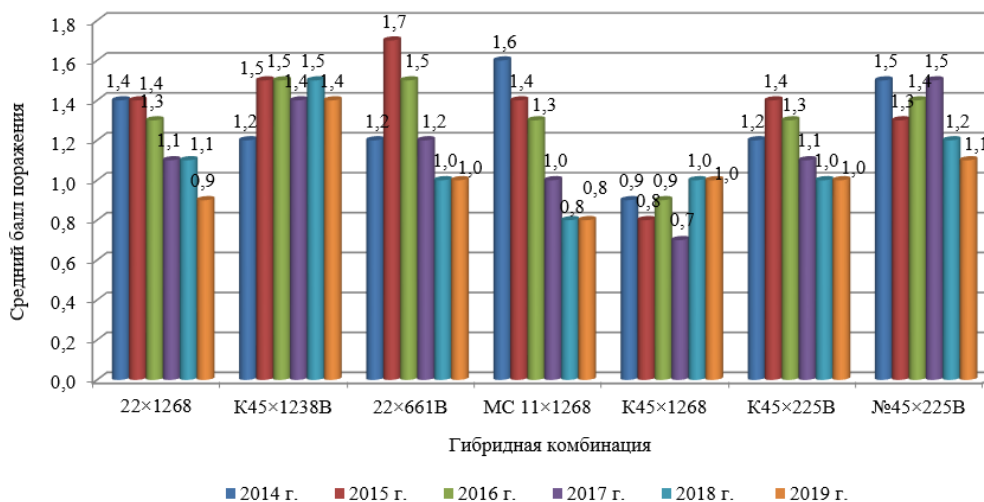


Рисунок 5 – Варьирование устойчивости гибридных комбинаций моркови столовой к *Alternaria dauci* в зависимости от года

Так, комбинация 22×1268 по *Alternaria* в 2017 г. из группы средневосприимчивых перешла в группу слабовосприимчивых с баллом поражения по образцу 1,1. В 2019 г. она имела средней балл по образцу 0,9 и характеризовалась как устойчивая. Такую же тенденцию имела и комбинация MC 1-1×1268. Гибридная комбинация K45×1268 изначально характеризовалась как устойчивая с баллом поражения по образцу от 0,9 в 2014 г. до 0,7 в 2017 г., но агроклиматические факторы годов исследования повлияли на ее толерантность. В 2018 и 2019 гг. данная комбинация входила в группу слабовосприимчивых и имела средний балл поражения по образцу 1,0.

Гибридные комбинации 22×661В, К45×225В и №45×225В характеризовались как слабосприимчивые в 2019 г., но так как изначальные оценки устойчивости были высоки (от 1,2 до 1,7 балла поражения) и комбинации характеризовались как среднесприимчивые, то данные образцы требуют еще проверок на толерантность.

Комбинация К45×1238В по толерантности к *Alternaria* требует дополнительных исследований.

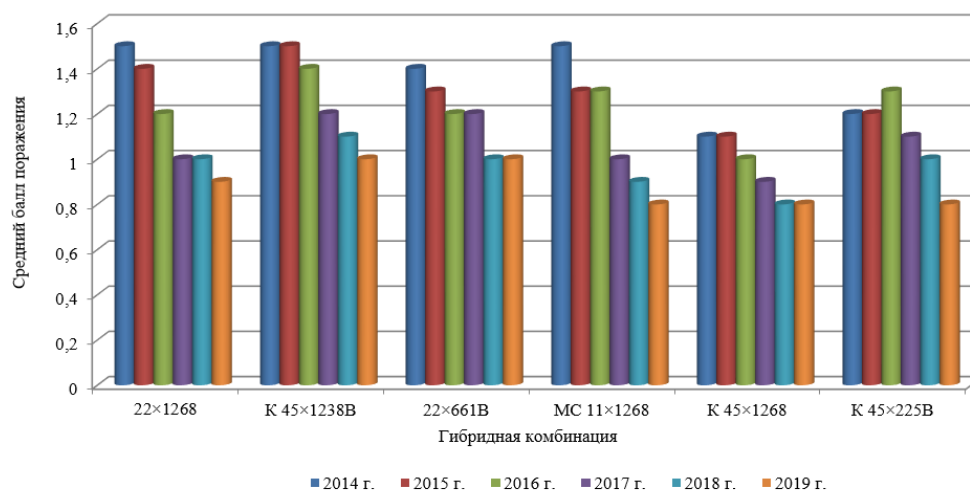


Рисунок 6 – Варьирование устойчивости гибридных комбинаций моркови столовой к *Fusarium oxysporum*

Все исследуемые гибридные комбинации в 2018 и 2019 гг. по *Fusarium* входят в группу устойчивых с балом поражения по образцу от 1 до 0,8. Но мы свой выбор остановили на комбинациях 22×1268; МС 1-1×1268 и К45×1268, потому что они выделились по толерантности на инфекционном фоне *Alternaria*, а оценка по устойчивости ведется одновременно к *Alternaria* и *Fusarium*.

Также отмечено, что рост устойчивости наблюдается в тех гибридных комбинациях, где в роли отцовского компонента выступает линия 1268. На основании этого мы можем предположить, что в данной форме присутствует ген устойчивости. Данное предположение требует привлечения молекулярной диагностики, которая будет проведена в дальнейших исследованиях.

На естественном фоне в селекционном севообороте изучали хозяйственно ценные признаки (таблица 1) новых выделившихся гибридов. В качестве стандарта по комплексу хозяйственно ценных признаков были взяты гибриды иностранной селекции – Маэстро F₁ (Vilmorin) и Найджел F₁ (Bejo).

Данные сортообразцы по сравнению со стандартами обладают высокой товарностью – от 85 до 87 %, урожайностью – от 31,7 до 35,5 т/га, средней массой корнеплодов – 185–202 г.

При расчете НСР выявлено существенное различие между урожайностью и товарностью – 4,66. При сравнении массы и длины корнеплода существенных различий не выявлено – 38,7.

Комбинации 22×1268, МС 1-1×1268 и К45 ×1268 имеют прямостоячую листовую розетку, выровнены по форме и величине головки корнеплодов.

При создании новых гибридов необходимо учитывать товарный выход маточников (корнеплодов) после семи месяцев хранения, так как это необходимо для дальнейшей работы по гибридизации (таблица 2).

Таблица 1 – Хозяйственно ценные признаки гибридных комбинаций образцов на естественном фоне (2014–2019 гг.)

| Образец | Урожайность, т/га | Товарность, % | Масса корнеплода, г | Длина корнеплода, см |
|------------------------------|-------------------|---------------|---------------------|----------------------|
| Маэстро F ₁ (St.) | 23,0 | 79 | 120 | 22 |
| Найджел F ₁ (St.) | 28,5 | 80 | 150 | 16 |
| K45×225B | 33,7 | 83 | 175 | 17 |
| № 45×225B | 42,5 | 88 | 185 | 16 |
| 22×1268 | 31,7 | 86 | 187 | 20 |
| K45×1238B | 30,6 | 83 | 178 | 18 |
| 22×661B | 30,0 | 80 | 179 | 17 |
| МС 1-1 ×1268 | 35,2 | 87 | 185 | 18 |
| K45×1268 | 35,1 | 85 | 202 | 18 |
| НСР _{0,05} | 4,66 | | 38,7 | |

Таблица 2 – Товарный выход маточников (корнеплодов) моркови столовой после семи месяцев хранения с трех фонов (среднее за 2014–2019 гг.)

| Образец | Выход товарных корнеплодов (маточников) после хранения, по фонам, % | | |
|---------------------|---|---------------------------|---|
| | <i>Alternaria radicina</i> | <i>Fusarium oxysporum</i> | Естественный фон (производственный посев) |
| 22×661 B | 65 | 60 | 80 |
| K45×225B | 62 | 75 | 85 |
| № 45×225B | 65 | 70 | 80 |
| МС 1-1×1268 | 70 | 65 | 85 |
| 22×1268 | 75 | 75 | 95 |
| K45×1268 | 75 | 70 | 95 |
| K 45×1238B | 60 | 65 | 80 |
| 1238 B | 60 | 60 | 75 |
| 22 | 75 | 65 | 80 |
| K45 | 80 | 75 | 90 |
| МС 1-1 | 75 | 70 | 75 |
| 225B | 60 | 50 | 80 |
| 1268 | 60 | 65 | 85 |
| 661 B | 70 | 50 | 75 |
| № 45 | 80 | 75 | 80 |
| НСР _{0,05} | 9,3 | | |

В результате иммунологического изучения семи гибридных комбинаций и восьми родительских форм селекции ВНИИО выявлено, что с естественного фона выход маточников (корнеплодов) после хранения на 30 % больше, чем с искусственных инфекционных фонов. Это связано с тем, что на искусственных инфекционных фонах при посеве семян вносятся почвенные изучаемые патогены *Alternaria radicina* и *Fusarium oxysporum* для более точной селекционно иммунологической оценки корнеплодов.

Изучаемые комбинации имеют выход корнеплодов (маточников) после семи месяцев хранения с искусственных инфекционных фонов: *A. radicina* – от 70 до 75 %, *F. oxysporum* – от 65 до 75 %. Тем не менее, доля пораженных корнеплодов комплексом патогенов с трех фонов при хранении варьировала по годам, но не превышала 15 %.

Выводы

В ходе многолетнего разностороннего исследования устойчивости и влияния фактора агроклиматического года выявлены относительно устойчивые гибридные комбинации: МС 1-1×1268, 22×1268, K45×1268.

Данные образцы имеют выход товарных корнеплодов после семи месяцев хранения от 75 % до 95 %. Также выявлена высокая сохраняемость маточников (корнеплодов) – от 85 % до 87 %. После некоторых уточнений данные комбинации планируется передать на испытание для дальнейшего включения в Государственный реестр селекционных достижений.

Литература

1. Соколова Л. М., Бухаров А. Ф., Иванова М. И. Применение последовательных отборов при селекции моркови столовой на устойчивость к *Fusarium sp.* и *Alternaria sp.* // Аграрная наука. 2020. № 6. С. 78–83. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-339-6-78-83.
2. Гетерозис в овощеводстве // Под ред. Голомыслова Ф. С. Л.: Колос, 1968. 304 с.
3. Федорова М. И., Степанов В. А. Корнеплоды, направление селекции, результаты // Овощи России 2017. № 4. С. 16–22. DOI: 10.18619/2072-9146-2017-4-16-22.
4. Федорова М. И., Степанов В. А. Методы селекции и семеноводства овощных корнеплодных растений. М.: б/и, 2003. 283 с.
5. Соколова Л. М. Система селекционно-иммунологических методов создания сортов и гибридов моркови столовой с групповой устойчивостью к *Alternaria sp.* и *Fusarium sp.* с комплексом хозяйственно ценных признаков. Дисс. ... д. с.–х. н. М: Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», 2021. 323 с.
6. Назаров П. А., Балеев Д. Н., Иванова М. И., Соколова Л. М., Каракозова М. В. Инфекционные болезни растений: этиология, современное состояние, проблемы и перспективы защиты растений // Acta Naturae (русскоязычная версия). 2020. Т 2. № 3(46). С. 46–59. DOI: 10.32607/actanaturae.11026.
7. Farrar J. J., Pryor B. M., Davis R. M. *Alternaria* diseases of carrot // Plant Dis. 2004. No. 88. P. 776–784. DOI: 10.1094/PDIS.2004.88.8.776.
8. Ахатов А. К., Ганнибал Ф. Б., Мешков Ю. И., Джалилов Ф. С., Чижов В. Н., Игнатов А. Н., Полищук В. П., Шевченко Т. П., Борисов Б. А., Стройков Ю. М., Белошапкина О. О. Болезни и вредители овощных культур и картофеля. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 463 с.
9. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве // Под ред. Белика В. Ф. М.: Агропромиздат, 1992. С. 319.
10. Соколова Л. М. Система комплексного применения селекционно – иммунологических методов для создания сортов и гибридов моркови столовой с групповой устойчивостью к *Alternaria sp.* и *Fusarium sp.* Методические рекомендации. М.: б/и, 2022. 56 с.
11. Abe H. [et al.] Annual report of the society of plant protection of North Japan. 1997. No. 48. P. 106–108.
12. Монахос Г.Ф., Джалилов Ф. С., Монахос С. Г. Оценка устойчивости капустных растений к киле (возбудитель *Plasmidiophora brassicae* Wor.): учебно-методическое пособие. М.: РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009. С. 24.
13. Леунов В. И. Столовые корнеплоды в России. М.: ЛитРес, 2011. 272 с.

References

1. Sokolova L. M., Bukharov A. F., Ivanova M. I. Application of sequential selections in the selection of table carrots for resistance to *Fusarium sp.* and *Alternaria sp.* // Agrarian Science. 2020. No. 6. P. 78–83. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-339-6-78-83.
2. Heterosis in vegetable growing // Ed. by Golomysova F.S. Leningrad: Kolos, 1968. 304 p.
3. Fedorova M. I., Stepanov V. A. Root vegetables, breeding trends, results // Vegetable Crops of Russia. 2017. No. 4. P. 16–22. DOI: 10.18619/2072-9146-2017-4-16-22.
4. Fedorova M. I., Stepanov V. A. Methods of breeding and seed production of vegetable root crops. Moscow: no publ., 2003. 283 p.
5. Sokolova L. M. System of selection and immunological methods for creating varieties and hybrids of table carrots with group resistance to *Alternaria sp.* and *Fusarium sp.* with a complex of economically valuable signs. Diss ... Dr. Sc. (Agr.). Moscow: All-Russian Research Institute of Vegetable Crop Production – branch of the Federal Scientific Center of Vegetable Crop Production, 2021. 323 p.
6. Nazarov P. A., Baleev D. N., Ivanova M. I., Sokolova L. M., Karakozova M. V. Infectious plant diseases: etiology, current status, problems and prospects of plant protection // Acta Naturae (Russian version). 2020. Vol. 2. No. 3(46). P. 46–59. DOI: 10.32607/actanaturae.11026.
7. Farrar J. J., Pryor B. M., Davis R. M. *Alternaria* diseases of carrot // Plant Dis. 2004. No. 88. P. 776–784. DOI: 10.1094/PDIS.2004.88.8.776.

8. Akhatov A. K., Hannibal F. B., Meshkov Yu. I., Jalilov F. S., Chizhov V. N., Ignatov A. N., Polishchuk V. P., Shevchenko T. P., Borisov B. A., Stroikov Yu. M., Beloshapkina O. O. Diseases and pests of vegetable crops and potatoes. Moscow: Association of Scientific Publications KMK, 2013. 463 p.
9. Methodology of experimental work in vegetable growing and melon growing // Ed. by Belik V. F. Moscow: Agropromizdat, 1992. 319 p.
10. Sokolova L. M. System of complex application of selection and immunological methods for the creation of varieties and hybrids of table carrots with group resistance to *Alternaria sp.* and *Fusarium sp.* Methodological recommendations. Moscow: no publ., 2022. 56 p.
11. Abe H. [et al.] Annual report of the society of plant protection of North Japan. 1997. No. 48. P. 106–108.
12. Monakhos G. F., Jalilov F. S., Monakhos S. G. Assessment of the resistance of cabbage plants to keel (pathogen *Plasmidiophora brassicae* Wor.): manual. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy Publ., 2009. P. 24.
13. Leunov V. I. Table root crops in Russia. Moscow: LitRes, 2011. 272 p.

UDC 633.432; 632.3.01/08

Sokolova L. M.

CREATION OF PROMISING HETEROISIS HYBRIDS OF TABLE CARROT

Summary: *Table or cultivated carrots (*D. carota* L. subsp. *sativus* (Hoffm.) Arcang.) ($2n=2x=18$) are among the ten most produced vegetable crops in the world. When creating hybrids of table carrots, special attention should be paid to the resistance to the complex of the most harmful pathogens of the genera *Alternaria* and *Fusarium*. Heterosis breeding in vegetable and melon crops is a progressive direction – it is possible to significantly increase productivity and improve product quality. Among vegetable crops, carrot is the least studied one in the context of heterosis. Crossing within a variety (intra-varietal) does not give a significant heterotic effect on productivity, but hybrids obtained in this way are characterized by uniformity and high fruit quality. The purpose of the research was to create resistant to *Fusarium oxysporum*, *Alternaria radicina* and *Alternaria dauci* competitive heterotic F1 hybrids of table carrot based on a complex of selection and immunological methods. The research has been carrying out in the All-Russian Research Institute of Vegetable Crop Production – branch of the Federal Scientific Center of Vegetable Crop Production since 2007 to date according to generally accepted methods. The article presents the results of the research from 2011 to 2019. As a result of a long-term comprehensive study of stability and influence of the agro-climatic factor of the year, relatively resistant hybrid combinations were identified: MS 1-1 × 1268, 22 × 1268, K45 × 1268. These samples have good preservation quality: 75%–95% after seven months of storage. The high preservation quality of mother plants (carrots itself) was also revealed – from 85 % to 87 %. After some refinements, these combinations are planned to be registered in the State Register of Breeding Achievements.*

Keywords: *Daucus carota* L. subsp. *sativus* (Hoffm.) Arcang., heterosis, breeding, *Fusarium*, *Alternaria*, lines, hybrids.

Соколова Любовь Михайловна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; 140153, Московская область, Раменский район, д. Верея, стр. 500; e-mail: lsokolova74@mail.ru.

Sokolova Lyubov Mikhailovna, Dr. Sc. (Agr.), leading researcher of the Department of breeding and seed production, All-Russian Research Institute of Vegetable Crop Production – branch of the Federal Scientific Center of Vegetable Crop Production; build. 500, Vereya village, Ramensky district, Moscow region, 140153, Russia; e-mail: lsokolova74@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 10.04.2023.

Дата принятия к печати – 13.06.2023

EDN ZIMYQY

DOI 10.5281/zenodo.8272097

УДК 633.321:631.559

Шихова И. В., Арзамасова Е. Г., Попова Е. В.

ИЗУЧЕНИЕ СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЕКЦИОННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО В УСЛОВИЯХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

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

Реферат. Для удовлетворения потребностей производства необходимо создавать качественные сорта клевера лугового, которые обладали бы кормовыми достоинствами, а также имели высокую семенную продуктивность. Цель исследований – изучить урожайность семян и показатели плодоношения селекционных популяций клевера лугового в питомнике оценки семенной продуктивности и выделить наиболее перспективные. Объект исследований – шесть популяций различного селекционного происхождения, сравнение – с районированным сортом-стандартом (St.) Дымковский. В периоды вегетации сложились контрастные погодные условия: 2020 г. умеренно-тёплый с достаточным увлажнением, 2021 г. тёплый и жаркий с редкими осадками, что отразилось на качестве семенного материала. За два года исследований выделены: по урожайности семян – селекционные популяции П-15 (2,14 ц/га) и ГПР-32-2Ф1 (1,99 ц/га), достоверно превысившие стандарт (1,58 ц/га, НСР₀₅ = 0,39 ц/га); по параметрам плодоношения – П-15 и СППФ-159-3 с хорошей завязываемостью семян (39,0 и 42,0 %), обсеменённостью соцветий (32,4 и 37,7 %), количеством семян в головке (37,2 и 41,3 шт.) и массой 1000 семян (1,68 и 1,74 г). В оба года пользования (г.п.) в период «цветение–созревание» выявлена корреляционная зависимость урожайности от средней температуры воздуха ($r = -0,74$ и $r = 0,68$, $p \leq 0,01$) и количества осадков ($r = 0,61$ и $r = 0,54$, $p \leq 0,01$). Также в указанный межфазный период установлена отрицательная корреляционная связь между завязываемостью семян в головках и суммой активных температур (выше 10 °С) ($r = -0,62$ и $r = -0,61$, $p \leq 0,01$) и количеством выпавших осадков ($r = -0,77$ и $r = -0,41$, $p \leq 0,01$). Выделившиеся популяции будут использованы в дальнейшей селекционной работе в качестве источников повышенной семенной продуктивности.

Ключевые слова: клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), селекционная популяция, погодные условия, урожайность, показатели плодоношения, обсеменённость головок, коэффициент корреляции.

Для цитирования: Шихова И. В., Арзамасова Е. Г., Попова Е. В. Изучение семенной продуктивности селекционных популяций клевера лугового в условиях Кировской области // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 136–147. EDN: ZIMYQY. DOI 10.5281/zenodo.8272097.

For citation: Shikhova I. V., Arzamasova E. G., Popova E. V. Study of *Trifolium pratense* L. breeding populations seed productivity under conditions of the Kirov region // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P.136–147. EDN: ZIMYQY. DOI 10.5281/zenodo.8272097.

Введение

Многолетние травы являются основным источником объёмистых кормов в животноводстве. Создание высококачественных сортов, обеспечивающих формирование стабильно высоких урожаев при использовании на кормовые цели, обладающих хорошей семенной продуктивностью, устойчивых к вредителям и болезням, приспособленных к различным почвенно-климатическим условиям зоны

возделывания – основная задача селекции многолетних бобовых трав [1–3]. При выращивании бобовых трав улучшаются свойства почвы, сохраняется её плодородие и обогащаются доступными элементами питания другие культуры. Благодаря способности к азотфиксации (до 180–200 кг/га за вегетацию) бобовые позволяют исключить использование азотных удобрений [4–7]. В большинстве регионов России, в том числе в Нечернозёмной зоне страны, одной из основных возделываемых многолетних бобовых культур является клевер луговой, его посевы занимают более 5 млн га. Создание отечественных сортов с высокой урожайностью семян позволит быстро размножить и увеличить посевные площади клевера лугового, а следовательно, избежать дефицита семян в сельскохозяйственном производстве [8–11]. При внедрении в производство только сортовых посевов возможно на 25–30 % повысить кормовую и семенную продуктивность [12].

На сегодняшний день для успешного ведения кормопроизводства и эффективной системы семеноводства в стране необходимо иметь около 15 тыс. т семян клевера лугового [13]. Но в производственных условиях урожайность семян редко достигает 150–200 кг/га [14]. Внедрение и соблюдение агротехнических приёмов, использование современных средств механизации позволят увеличить уровень семенной продуктивности и валового сбора семян. Большое влияние на рост и развитие растений как на начальных этапах формирования генеративных органов, так и в процессе образования семян оказывают агрометеорологические условия. Известно, что клевер луговой относится к энтомофильным растениям. Если нет достаточного количества насекомых-опылителей, то урожай семян будет низким. Установлено, что на долю опыления приходится 60–80 % при формировании биологического урожая семян [15, 16]. Но низкие урожаи семян клевера зависят не только от недостатка опылителей или их плохой работы. Положительные результаты можно получить при внедрении в процесс семеноводства комплекса агротехнических приёмов, обеспечивающих высокие и стабильные урожаи семян. Поэтому создание и изучение перспективных сортов с максимальным количеством полноценных семян, адаптированных для зон возделывания, является актуальным вопросом в селекционной работе.

Цель исследований – изучить урожайность семян и показатели плодоношения селекционных популяций клевера лугового в питомнике оценки семенной продуктивности и выделить наиболее перспективные.

Материалы и методы исследований

Исследования по изучению семенной продуктивности проводили на базе опытного поля лаборатории селекции и первичного семеноводства многолетних трав ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого» (г. Киров) в 2020–2021 гг. Семенной материал получен в питомнике оценки семенной продуктивности 2019 г. посева. Материалом для изучения послужили шесть селекционных популяций клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) собственной селекции различного происхождения: гибридные и сложногобридные, прошедшие отбор на фузариозном фоне (ГПФ-49-3, ГПФ-86-3, СГПФ-159-3, СГПФ-159-3+СГП-117), гибридная с двукратным отбором на склеротиниозном фоне и однократным на фузариозном (ГПР-32-2Ф1) и поликроссная популяция П-15. Сравнение проводили с районированным сортом-стандартом Дымковский.

Почва опытного участка дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая с содержанием в пахотном слое гумуса – 2,2 % (по Тюрину), обменного фосфора – 192,5 мг/кг почвы, обменного калия – 217,9 мг/кг почвы (по Кирсанову), рН_{KCl} = 4,42. Посев питомника проводили весной (16.05.2019 г.) беспокровно порционной сеялкой СКС 6-10. Учётная площадь делянок 30 м² без повторностей, с использованием

экрановой изоляции – тимopheевки луговой. При созревании 75–95 % растений уборку семенного травостоя осуществляли напрямую селекционным комбайном Сампо-130.

Метеорологические условия в годы проведения наблюдений были различны, в течение вегетационных периодов характер погоды был неустойчивым по количеству выпавших осадков и температурному режиму, что повлияло на качество семенного материала (рисунки 1, 2).

Весенний период вегетации 2020 г. характеризовался тёплой погодой с превышением среднесуточной температуры воздуха на 5–10 °С вплоть до середины мая. Затем наступившее похолодание замедлило рост и развитие растений. На конец мая сумма эффективных температур достигла 226,6 °С, количество осадков – выше нормы на 89 мм (165 % от нормы). В течение июня характер погоды значительно менялся. В первую и вторую декаду месяца было тепло и жарко, осадков выпадало мало (18 мм). В третью декаду при продолжающемся дефиците осадков (23 мм) преобладала умеренно-тёплая и холодная погода с дневной температурой воздуха не выше 10–16 °С. В результате средняя за июнь температура воздуха была ниже климатической нормы на 0,8–2,2 °С. До середины июля установилась жаркая (на 3–12 °С выше нормы) и сухая (22 мм) погода. Затем наблюдали типичную для этого месяца тёплую погоду, в отдельные дни с сильными ливнями и грозами. Первая половина августа характеризовалась неустойчивой, от тёплой до прохладной (дневная температура 12–20 °С), с незначительными осадками, погодой. Потом начались редкие, но обильные дожди, что привело к полеганию и прорастанию созревших семян в головках и потере их урожая.

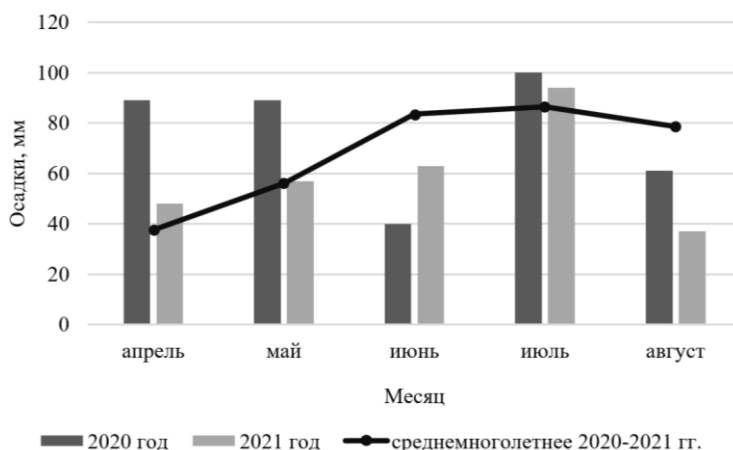


Рисунок 1 – Влагообеспеченность вегетационных периодов 2020–2021 гг.

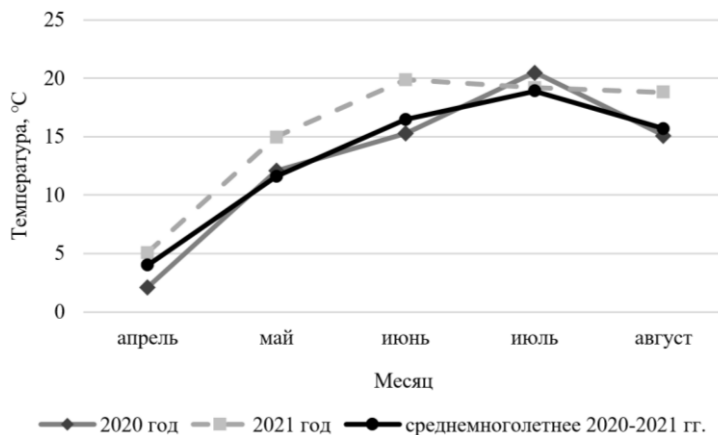


Рисунок 2 – Температурный режим вегетационных периодов 2020–2021 гг.

Активная вегетация растений в 2021 г. началась седьмого мая, когда произошёл устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 10 °С в сторону повышения. Во второй декаде месяца стояла аномально жаркая погода – 25–29 °С (выше климатической нормы на 8–10,5 °С). В конце месяца наступившее похолодание (ночью около 0 °С) повлияло на развитие растений. В июне стояла тёплая (до жаркой), сухая, с редкими грозовыми дождями погода. В течение месяца выпало 63 мм осадков (80 % от нормы), сумма эффективных температур достигла 767,3 °С. Июль – умеренно-тёплый, жаркий со среднесуточной температурой воздуха 19–24 °С, в отдельные дни до 30–32 °С. В начале месяца осадков выпадало мало, затем участились дожди и сильные ливни. К моменту уборки семенных травостоев (26.07) сумма эффективных температур достигала 1207,2 °С.

Закладку питомника, оценки, учёты и фенологические наблюдения проводили согласно действующим методикам для многолетних бобовых трав [17–19]. Статистическая обработка данных – по Б. А. Доспехову [20] методами дисперсионного, парного корреляционно-регрессионного и вариационного анализа с помощью пакета селекционно ориентированных программ AGROS, версия 2.07.

Результаты и их обсуждение

Перезимовка клеверов в периоды 2019–2020 и 2020–2021 гг. прошла удовлетворительно. Отрастание растений в первый год пользования (г.п.) отмечено 21 апреля, во второй г.п. – 20 апреля. Зимостойкость всех популяций и сорта Дымковский в оба года исследований была высокой и очень высокой: в первый год – от 85,6 (ГПР-32-2Ф1) до 98,9 % (ГПФ-49-3), во второй – от 88,2 (СГПФ-159-3) до 100,0 % (ГПР-32-2Ф1) (таблица 1) [21].

Таблица 1 – Биологическая характеристика селекционных популяций клевера лугового

| Популяция | Зимостойкость, % | | Дата наступления фенологической фазы | | | | Продолжительность периода от начала отрастания до, сут | | | |
|------------------------|------------------|--------|--------------------------------------|--------|------------|--------|--|--------|------------|--------|
| | | | цветения | | созревания | | цветения | | созревания | |
| | 1 г.п. | 2 г.п. | 1 г.п. | 2 г.п. | 1 г.п. | 2 г.п. | 1 г.п. | 2 г.п. | 1 г.п. | 2 г.п. |
| ГПФ-49-3 | 98,9 | 96,7 | 29.06 | 22.06 | 10.08 | 19.07 | 69 | 63 | 111 | 90 |
| П-15 | 96,8 | 91,8 | 30.06 | 24.06 | 10.08 | 20.07 | 70 | 65 | 111 | 91 |
| ГПР-32-2Ф1 | 85,6 | 100,0 | 27.06 | 22.06 | 10.08 | 19.07 | 67 | 63 | 111 | 90 |
| СГПФ-159-3 | 96,8 | 88,2 | 02.07 | 24.06 | 11.08 | 20.07 | 72 | 65 | 112 | 91 |
| СГПФ-159-3+ СГП-117 | 87,5 | 95,7 | 01.07 | 24.06 | 11.08 | 20.07 | 71 | 65 | 112 | 91 |
| ГПФ-86-3 | 88,2 | 93,8 | 05.07 | 24.06 | 13.08 | 23.07 | 75 | 65 | 114 | 94 |
| Дымковский (St.) | 87,5 | 92,9 | 07.07 | 30.06 | 15.08 | 24.07 | 77 | 71 | 116 | 95 |

В первый г.п. самое раннее начало цветения (27 и 29 июня) отмечено у популяций ГПР-32-2Ф1 и ГПФ-49-3 (на 67 и 69 сут после отрастания), затем на 70–72 сут (30.06–02.07) зацвели П-15, СГПФ-159-3+СГП-117, СГПФ-159-3, более позднее цветение отмечено у популяции ГПФ-86-3 и сорта Дымковский – 5 и 7 июля соответственно. На второй год растения зацвели раньше на 5–7 дней благодаря тёплой погоде в июне, которая сохранялась на протяжении всего месяца. Первыми, как и в первый г.п., в фазу цветения вступили ГПФ-49-3 и ГПР-32-2Ф1 – 22 июня (на 63 сут после начала отрастания), через два дня зацвели остальные селекционные популяции, стандарт – 30 июня.

Погодные условия повлияли и на продолжительность вегетационных периодов растений клевера лугового: в первый г.п. он составил 111–116 сут, во второй г.п. был менее продолжительным – 90–95 сут. Созревание и уборка семенных

травостоев в 2020 г. (22.08) затянулись благодаря участвовавшим дождям в конце июля и неустойчивой погоде августа, когда дневная температура воздуха не превышала 12–20 °С. Более раннее созревание отмечено у популяций ГПФ-49-3, П-15, ГПР-32-2Ф1, СГПФ-159-3 и СГПФ-159-3+СГП-117 (10 и 11 августа), несколько позднее уборочной спелости достигли травостой ГПФ-86-3 (13 августа) и сорта Дымковский (15 августа). В 2021 г. формирование семян клевера лугового проходило в умеренно-тёплых и жарких условиях с редкими осадками, поэтому фаза «созревание» у популяций отмечена с 19 июля (ГПФ-49-3 и ГПР-32-2Ф1) по 24 июля (Дымковский), а к 26 июля травостой уже были готовы к уборке.

Избыточное количество осадков в мае–июне 2020 г. привело к тому, что все популяции сформировали высокие травостой – 93,6 см (СГПФ-159-3+СГП-117) – 99,7 см (П-15), что вызвало их полегание в фазе уборочной спелости и частичную потерю урожая семян (таблица 2).

Таблица 2 – Хозяйственно-биологические показатели селекционных популяций клевера лугового

| Популяция | Высота растений, см | | Урожайность семян, ц/га | | | | |
|------------------------|---------------------|--------|-------------------------|--------|---------------------|---------|-------|
| | 1 г.п. | 2 г.п. | 1 г.п. | 2 г.п. | среднее за два года | ± к ст. | % |
| П-15 | 99,7 | 63,8 | 1,13 | 3,14* | 2,14* | +0,56 | 135,4 |
| ГПР-32-2Ф1 | 93,6 | 64,0 | 1,05 | 2,92* | 1,99* | +0,41 | 126,0 |
| ГПФ-49-3 | 99,5 | 61,2 | 0,97 | 2,47* | 1,72 | +0,14 | 108,9 |
| СГПФ-159-3 | 96,5 | 61,8 | 0,88 | 2,49* | 1,69 | +0,11 | 107,0 |
| СГПФ-159-3+ СГП-117 | 93,7 | 59,4 | 0,97 | 2,14* | 1,56 | -0,02 | 98,7 |
| ГПФ-86-3 | 94,5 | 57,6 | 0,96 | 1,99 | 1,48 | -0,10 | 93,7 |
| Дымковский (St.) | 97,4 | 62,8 | 1,34 | 1,82 | 1,58 | - | - |
| НСР ₀₅ | - | - | 0,11 | 0,26 | 0,39 | - | - |

Примечание. * – достоверно к стандарту ($P \geq 0,95$).

В 2021 г. высота растений у всех селекционных популяций и сорта Дымковский была ниже уровня первого г.п. на 40 % и соответствовала градации «средняя» – 57,6–64,0 см (популяции), 62,8 см (стандарт). В оба года изучения самой высокорослой была П-15 (99,7 и 63,8 см).

Максимальный урожай семян клевера лугового можно получить при достаточном количестве осадков во время формирования генеративных органов растения и когда в межфазный период «цветение–созревание» преобладает сухая и солнечная погода, способствующая активному лёту насекомых и опылению трав [22, 23].

Урожайность семян в 2020 г. у селекционных популяций была ниже в два раза, по сравнению с урожайностью, полученной на следующий год, и уступила стандарту (на 0,21–0,46 ц/га), составив 0,88 (СГПФ-159-3) – 1,13 ц/га (П-15). В 2021 г. все популяции, за исключением ГПФ-86-3, достоверно превысили стандарт (1,82 ц/га, НСР₀₅ = 0,26 ц/га) по этому параметру на 0,32 (СГПФ-159-3+СГП-117) – 1,32 ц/га (П-15), ГПФ-86-3 обеспечила прибавку 0,17 ц/га семян в пределах статистической погрешности.

Более высокие показатели во второй год (2021) отмечены благодаря тёплой, с редкими дождями погоде, послужившей лучшему опылению и завязываемости семян в головках клевера, по сравнению с первым годом (2020), когда условия влагообеспеченности находились выше нормы (в июле ГТК = 2,1). Кроме того, обильные дожди второй половины августа 2020 г. привели к полеганию высокорослых травостоев, что затруднило уборку и снизило урожай семян. По

данным ряда исследователей [22, 24], наибольшее влияние на семенную продуктивность имеют погодные условия в межфазный период «цветение-созревание». Нами в оба года пользования выявлена зависимость от средней температуры воздуха ($r = -0,74$ и $r = 0,68$ соответственно в 2020 и 2021 гг., $p \leq 0,01$) и количества осадков ($r = 0,61$ и $r = 0,54$, $p \leq 0,01$).

В среднем за два года исследований наибольший уровень урожайности семян показали популяции П-15 – 2,14 ц/га (+0,56 ц/га к стандарту) и ГПР-32-2Ф1 – 1,99 ц/га (+0,41 ц/га). Небольшие прибавки дали ГПФ-49-3 (+0,14 ц/га) и СГПФ-159-3 (+0,11 ц/га). Согласно шкале [21], полученные результаты урожайности относительно стандарта Дымковский можно разделить по градациям: «высокая» – 135,44 % (П-15) и «средняя» со значениями от 93,67 (ГПФ-86-3) до 125,95 % (ГПР-32-2Ф1).

На формирование урожайности семян клевера лугового большое влияние оказывает продуктивность головок. В 2020 и 2021 гг. был проведен анализ показателей плодоношения перспективных селекционных популяций (таблица 3).

Таблица 3 – Показатели семенной продуктивности селекционных популяций клевера лугового (2020–2021 гг.)

| Популяция | Год пользования | Параметры головки, см | | Плотность головки, шт./мм | Структура головки | | | Объемность головок, % | Масса 1000 семян, г |
|--------------------|-----------------|-----------------------|--------------|---------------------------|-------------------|------------|-------------|-----------------------|---------------------|
| | | длина | ширина | | цветков, шт. | семян, шт. | | | |
| | | | | | | всего | выполненных | | |
| ГПФ-49-3 | первый | 2,49 ± 0,08 | 2,59 ± 0,10* | 7,0 ± 0,40 | 109,4 | 29,7 | 21,8 | 19,9 | 1,62* |
| | второй | 2,28 ± 0,07* | 1,94 ± 0,13 | 9,8 ± 0,57 | 105,2 | 38,2 | 35,4 | 33,6 | 1,55 |
| | среднее | 2,38* | 2,26 | 8,4 | 107,3 | 34,0 | 28,6 | 26,8 | 1,59 |
| П-15 | первый | 2,40 ± 0,10 | 2,57 ± 0,06* | 0,2 ± 0,84* | 100,6 | 41,5 | 35,5 | 35,3 | 1,78* |
| | второй | 2,10 ± 0,03* | 2,41 ± 0,08* | 9,6 ± 0,65 | 89,4 | 32,8 | 26,3 | 29,4 | 1,57 |
| | среднее | 2,25* | 2,49* | 9,9 | 95,0 | 37,2 | 30,9 | 32,4 | 1,68 |
| ГПР-32-2Ф1 | первый | 2,35 ± 0,17 | 2,27 ± 0,07 | 8,5 ± 0,81 | 111,9 | 24,0 | 20,7 | 18,5 | 1,77* |
| | второй | 2,07 ± 0,08* | 2,42 ± 0,11* | 10,4 ± 0,54 | 107,6 | 42,3 | 37,2 | 34,6 | 1,49 |
| | среднее | 2,21 | 2,34 | 9,4 | 109,8* | 33,2 | 29,0 | 26,6 | 1,63 |
| СГПФ-159-3 | первый | 2,17 ± 0,09 | 2,76 ± 0,14* | 8,1 ± 0,36 | 91,9 | 32,3 | 28,8 | 31,3 | 1,89* |
| | второй | 2,20 ± 0,05* | 2,31 ± 0,07* | 10,4 ± 0,48 | 102,9 | 50,3 | 45,4 | 44,1* | 1,59 |
| | среднее | 2,18 | 2,54* | 9,2 | 97,4 | 41,3 | 37,1 | 37,7 | 1,74 |
| СГПФ-159-3+СГП-117 | первый | 2,26 ± 0,16 | 2,64 ± 0,04* | 6,4 ± 0,45 | 106,9 | 33,0 | 26,6 | 24,9 | 1,94* |
| | второй | 2,16 ± 0,05* | 2,36 ± 0,08* | 10,4 ± 0,44 | 108,3 | 40,8 | 36,5 | 33,7 | 1,57 |
| | среднее | 2,21 | 2,50* | 8,4 | 107,6 | 36,9 | 31,6 | 29,3 | 1,76 |
| ГПФ-86-3 | первый | 2,40 ± 0,07 | 2,37 ± 0,06 | 7,7 ± 0,53 | 114,6* | 38,1 | 33,9 | 29,6 | 1,76* |
| | второй | 2,16 ± 0,05* | 2,22 ± 0,06 | 12,0 ± 1,13* | 115,2* | 36,2 | 32,1 | 27,9 | 1,59 |
| | среднее | 2,28* | 2,30 | 9,8 | 114,9* | 37,2 | 33,0 | 28,8 | 1,68 |
| Дымковский (St.) | первый | 2,35 ± 0,07 | 2,40 ± 0,08 | 8,7 ± 0,68 | 103,8 | 37,8 | 33,5 | 32,3 | 1,60 |
| | второй | 1,91 ± 0,06 | 2,12 ± 0,08 | 10,4 ± 0,35 | 106,6 | 47,3 | 40,3 | 37,8 | 1,64 |
| | среднее | 2,13 | 2,26 | 9,6 | 105,2 | 42,6 | 36,9 | 35,1 | 1,62 |
| Среднее | первый | 2,34 | 2,51 | 8,1 | 105,6 | 33,8 | 28,7 | 27,4 | 1,74 |
| | второй | 2,12 | 2,25 | 10,4 | 105,0 | 41,1 | 36,2 | 34,4 | 1,55 |
| НСР ₀₅ | первый | 0,15 | 0,10 | 0,5 | 9,8 | 8,7 | 9,2 | 5,5 | 0,01 |
| | второй | 0,06 | 0,12 | 0,9 | 6,2 | 6,6 | 6,0 | 5,3 | 0,01 |
| | среднее | 0,12 | 0,17 | 1,0 | 3,8 | 5,4 | 4,8 | 4,6 | 0,11 |
| CV, % | первый | 4,44 | 6,86 | 15,30 | 7,26 | 17,5 | 20,74 | 23,47 | 7,12 |
| | второй | 5,50 | 7,77 | 7,38 | 7,50 | 14,92 | 16,66 | 15,64 | 2,90 |

Примечание. CV – коэффициент вариации; * – достоверно к стандарту ($P \geq 0,95$).

Длина головки клевера лугового в первый г.п. варьировала от 2,17 (СГПФ-159-3) до 2,49 см (ГПФ-49-3) со средним значением 2,34 см. Уровень изменчивости по данному показателю от незначительного – 8,57 % (Дымковский) до среднего – 21,63 % (ГПР-32-2Ф1) [20]. Достоверно шире стандарта (2,40 см, НСР₀₅ = 0,10 см) головки у популяций СГПФ-159-3 – 2,76 см (CV = 15,10 %), СГПФ-159-3+СГП-117 – 2,64 см (CV = 5,11 %), ГПФ-49-3 – 2,59 см (CV = 11,29 %) и П-15 – 2,57 см

($CV = 7,57\%$), со средним показателем по питомнику 2,51 см. Средняя плотность головки составляла 8,1 цветков на 1 мм длины стерженька и была достоверно выше у популяции П-15 – 10,2 шт./мм, при показателе стандарта 8,7 шт./мм, $НСР_{05} = 0,5$ шт./мм. Наименьшее количество цветков на 1 мм у СГПФ-159-3+СГП-117 (6,4 шт.) и ГПФ-49-3 (7,0 шт.). Уровень изменчивости – 13,45 (СГПФ-159-3) – 28,3 % (ГПР-32-2Ф1).

Во второй г.п. размеры головки клевера лугового были меньше в сравнении с первым годом в среднем на 0,22 см по длине и на 0,26 см по ширине. Наименьшая длина отмечена у ст. Дымковский – 1,91 см ($НСР_{05} = 0,06$ см), все популяции достоверно превысили стандарт на 0,16 (ГПР-32-2Ф1) – 0,37 см (ГПФ-49-3), изменчивость незначительная ($CV = 4,49–11,84\%$). По ширине головке выделяются ГПР-32-2Ф1, П-15, СГПФ-159-3+СГП-117, СГПФ-159-3 (2,42; 2,41; 2,36 и 2,31 см соответственно), как достоверно превышающие стандарт (2,12 см, при $НСР_{05} = 0,12$ см). Коэффициент вариации данного показателя – 7,60 (ГПФ-86-3) – 19,62 % (ГПФ-49-3). В сравнении с первым г.п. головки клевера лугового второго г.п. были плотнее в среднем на 2,3 шт./мм. Выделилась популяция ГПФ-86-3, достоверно превышающая стандарт (10,4 шт./мм, $НСР_{05} = 0,9$ шт./мм) на 1,6 цветков. У остальных популяций плотность головки была на уровне стандарта Дымковский от 9,6 (П-15) до 10,4 шт./мм (ГПР-32-2Ф1, СГПФ-159-3 и СГПФ-159-3+СГП-117). Коэффициент вариации составил 10,06 (Дымковский) – 27,33 % (ГПФ-86-3).

За два года наблюдений по параметрам головки (длина 2,25 см и ширина 2,49 см), а также плотности головки (9,9 см) выделяется популяция П-15.

Среднее количество цветков в головке в оба года исследований было равным и составило 105 шт. Популяция ГПФ-86-3 с показателем 114,6 и 115,2 шт. в 1 и 2 г.п. достоверно превысила стандарт (103,8 шт., $НСР_{05} = 9,8$ шт. и 106,6 шт., $НСР_{05} = 6,2$ шт. соответственно).

Наименее изменчивыми по годам исследований являются показатели: длина ($CV = 4,44$ и $5,50\%$) и ширина ($CV = 6,86$ и $7,77\%$) головки, а также количество цветков в головке ($CV = 7,26$ и $7,50\%$).

Максимальная завязываемость семян обеспечивается при температуре воздуха 21–24 °С и относительной влажности воздуха 40–50 % в период опыления травостоев клевера лугового, в дождливую погоду увеличивается гибель завязей и завязываемость уменьшается на 6–10 % [25, 26]. Так в 2021 г. при наиболее благоприятных погодных условиях доля завязываемости семян была выше и варьировала у селекционных популяций от 31,4 (ГПФ-86-3) до 48,9 % (СГПФ-159-3) (рисунок 3). В 2020 г. процент завязавшихся семян в головках был ниже на 7,7–10,0 % и составил 21,4 (ГПР-32-2Ф1) – 41,2 % (П-15).

Наибольшее количество семян в головке в первый г.п. отмечено у популяции П-15 (41,5 шт.) при проценте завязываемости 41,2 %. На уровне стандарта (37,8 шт., при $НСР_{05} = 8,7$ шт.) общее количество семян находилось у ГПФ-86-3 (38,1 шт.), СГПФ-159-3+СГП-117 (33,0 шт.) и СГПФ-159-3 (32,3 шт.) при среднем значении по питомнику 33,8 шт. Во второй г.п. семян в головке образовалось больше (в среднем 41,1 шт.), максимальное их количество отмечали у популяции СГПФ-159-3 (50,3 шт.).

В оба года установлена корреляционная зависимость завязываемости семян от суммы активных температур (выше 10 °С) ($r = -0,62$ и $r = -0,61$, $p \leq 0,01$) и от количества выпавших осадков ($r = -0,77$ и $r = -0,41$, $p \leq 0,01$) в период «цветение–созревание». Общее количество семян в головке также зависело от указанных факторов ($r = -0,70$ и $r = -0,51$; $r = -0,83$ и $r = -0,45$ соответственно, $p \leq 0,01$).

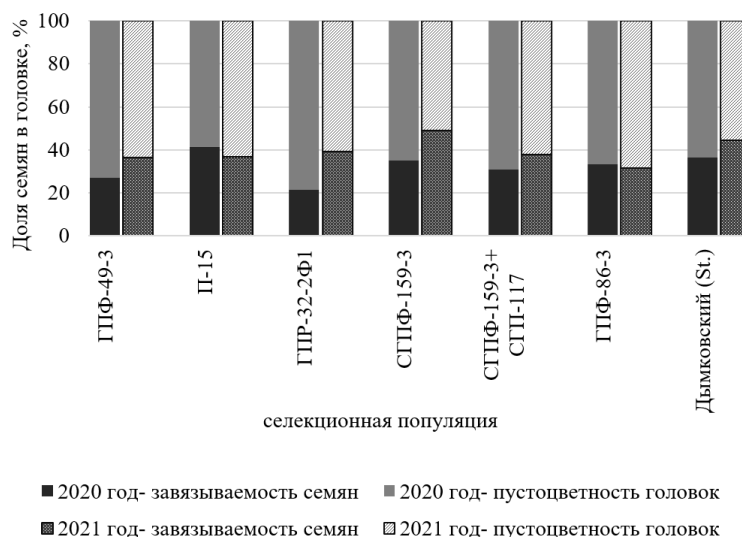


Рисунок 3 – Доля завязываемости семян в головках селекционных популяций клевера лугового

Обсеменённость головок в первый г.п. достигала 18,5 (ГПР-32-2Ф1) – 35,3 % (П-15), при показателях Дымковского 32,3 % ($НСР_{05} = 5,5$ %). Во второй г.п. она была выше и составила 27,9 (ГПФ-86-3) – 44,1 % (СГПФ-159-3), с достоверным превышением над стандартом (37,8 %) популяции СГПФ-159-3 (+6,3 %). Сумма активных температур и количество осадков в межфазный период «цветение–созревание» также значимо повлияли на обсеменённость головок ($r = -0,67$ и $r = 0,16$; $r = -0,77$ и $r = 0,39$, $p \leq 0,01$) и соответственно количество выполненных семян в головках ($r = -0,75$ и $r = -0,34$; $r = -0,83$ и $r = -0,31$, $p \leq 0,01$). Подобные результаты получены Зарьяновой З. А. и Золотарёвым В. Н. [9, 15].

В 2021 г. в результате наиболее благоприятных погодных условий для опыления клеверов завязываемость семян увеличилась на 7,7–10,0 %, а обсеменённость головок на 8,8–9,4 % вследствие чего был получен более высокий урожай семян у селекционных популяций клевера лугового.

В среднем за два года популяции П-15 и СГПФ-159-3 обладали лучшей завязываемостью семян в головке (39,0 и 32,4 %) и обсеменённостью головок (42,0 и 37,7 %), а соответственно наибольшим количеством семян в головке (37,2 и 41,3 шт. соответственно).

Масса 1000 семян также зависела от погодных условий в межфазный период «цветение–созревание». В 2020 г. семена благодаря достаточному увлажнению ($ГТК = 1,9$) были более крупными и выполненными, со средней массой 1000 семян – 1,74 г. В более засушливый период формирования и созревания семян 2021 г. ($ГТК = 1,3$) средняя масса 1000 семян составила 1,55 г, семена отличались меньшей крупностью и были более щуплыми. Селекционные популяции П-15 и СГПФ-159-3, имеющие хорошую завязываемость семян и обсеменённость головок, отличались также высокой массой 1000 семян в среднем за два года (1,68 и 1,74 г соответственно).

Выводы

Таким образом, по результатам двух лет изучения семенной продуктивности и показателей плодоношения у селекционных популяций клевера лугового выделены наиболее перспективные:

– П-15 и ГПР-32-2Ф1, обеспечившие наибольший уровень урожайности семян (2,14 и 1,99 ц/га) в среднем за два года пользования, что достоверно выше стандарта Дымковский на 0,56 и 0,41 ц/га ($НСР_{05} = 0,39$ ц/га).

– П-15 с наибольшими параметрами головки (длиной – 2,25 см и шириной – 2,49 см) и плотностью головки (9,9 шт./мм), завязываемостью семян (39,0 %), обсеменённостью головок (32,4 %), количеством семян в головке (37,2 шт.) и массой 1000 семян (1,68 г);

– СГПФ-159-3 с хорошей завязываемостью и обсеменённостью (42,0 и 37,7 %), количеством семян (41,3 шт.), в том числе выполненных (37,1 шт.), а также массой 1000 семян (1,74 г).

Полученные результаты позволяют использовать выделенные селекционные популяции в качестве источников повышенной семенной продуктивности в дальнейшей селекционной работе по созданию новых сортов клевера лугового.

Литература

1. Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Новые сорта кормовых культур и технологии для сельского хозяйства России // Кормопроизводство. 2021. № 6. С. 22–26.
2. Косолапов В. М., Костенко С. И., Пилипко С. В. Направления и задачи селекции кормовых трав в России // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 2. С. 21–24. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10205.
3. Солодка Л. А., Лапотышкина Л. И., Агафодорова М. Н., Косолапов В. М. Методы биотехнологии для создания кислотоустойчивых образцов клевера лугового с повышенной семенной продуктивностью // Кормопроизводство. 2022. № 6. С. 22–26.
4. Бурцева Н. И., Молоканцева Е. И. Получение семян клевера лугового в Нижнем Поволжье при орошении // Аграрный вестник Урала. 2021. № 08 (211). С. 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-211-08-2-10.
5. Акманаев Э. Д. Формирование урожайности одноукосного и двухукосного клевера лугового в зависимости от агрометеорологических условий // Пермский аграрный вестник. 2018. № 3 (23). С. 30–34.
6. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Семенная продуктивность клевера лугового тетраплоидного в зависимости от способа и срока уборки // Вестник НГАУ. 2016. № 3 (40). С. 13–18.
7. Новосёлов М. Ю., Дробышева Л. В., Матвеева О. С., Зятчина Г. П., Старшинова О. А., Однорова А. А., Засименко Е. М. Современные подходы в селекции клевера лугового для кормопроизводства России // Земледелие. 2014. № 2. С. 43–46.
8. Касаткина Н. И. Формирование семенной продуктивности клевера лугового тетраплоидного в зависимости от технологических приёмов // Вестник НГАУ. 2017. № 2 (43). С. 32–40.
9. Зарьянова З. А., Кириухин С. В. Параметры отбора перспективного материала для селекции клевера лугового в условиях Центрально-Чернозёмного региона РФ // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 3 (35). С. 128–133. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11195.
10. Тормозин М. А., Нагибин А. Е., Зырянцева А. А. Ценные по ряду признаков образцы клевера лугового на Урале // Аграрный вестник Урала. 2018. № 10 (177). С. 16–22. DOI: 10.32417/article_5c1a8b6bd0d3a0.35414551.
11. Новосёлов М. Ю., Дробышева Л. В., Старшинова О. А., Рекашус Э. С., Однорова А. А. Изучение различных агроприемов для повышения семенной продуктивности тетраплоидного клевера лугового // Кормопроизводство. 2019. № 11. С. 32–36.
12. Золотарёв В. Н., Косолапов В. М., Переправо Н. И. Состояние травосеяния и перспективы развития семеноводства многолетних трав в России и Волго-Вятском регионе // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 1 (56). С. 28–34.
13. Донских Н. А., Уманец М. С. Сравнительная оценка семенной продуктивности сортов клевера лугового в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (64). С. 15–23. DOI: 10.24412/2078-1318-2021-3-15-23.
14. Спиридонова А. М. Семенная продуктивность клевера лугового различных сортов // Сборник трудов Международной конференции «Современные тенденции в сельском хозяйстве». Казань: ИП Синяев Д. Н., 2014. С. 119–121.
15. Золотарёв В. Н. Сопряжённость семенной продуктивности клевера лугового с полеганием травостоя // Адаптивное кормопроизводство. 2022. № 1. С. 13–25. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2022-1-13-25.
16. Зарьянова З. А. Повышение урожайности семян клевера лугового за счёт активизации лётно-опылительной деятельности пчёл // Адаптивное кормопроизводство. 2020. № 3. С. 12–24. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-3-12-24.

17. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИК, 1997. 197 с.
18. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур // Под ред. Федина М. А. М.: Колос, 1985. 269 с.
19. Методические указания по селекции и первичному семеноводству клевера // Под ред. Шамсутдинова З. Ш., Новосёловой А. С., Бекузаровой С. А. М.: ВНИИК, 2002. 72 с.
20. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1968. 336 с.
21. Широкий унифицированный классификатор СЭВ рода *Trifolium* L. // Сост. Ужик М., Мухина Н. [и др.]. Л.: ВИР, 1983. 30 с.
22. Корелина В. А. Влияние абиотических факторов на семенную продуктивность клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) в условиях субарктической зоны РФ // Адаптивное кормопроизводство. 2019. № 2. С. 40–47. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-40-47.
23. Антонов В. И., Ларетин Н. А., Волкова Т. И. Эффективность опыления пчёлами клевера лугового // Кормопроизводство. 2016. № 4. С. 34–38.
24. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С., Фатыхов И. Ш. Длительность использования семенных травостоев многолетних бобовых трав // Известия ТСХА. 2021. № 4. С. 51–62. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-4-51-62.
25. Зарьянова З. А. Семенная продуктивность сортов клевера лугового различного типа спелости в условиях северной части Центрально-Чернозёмного региона // Зернобобовые и крупяные культуры. 2012. № 2. С. 108–115.
26. Полюдина Р. И. Клевер в Сибири. Монография. Новосибирск: СФНЦА РАН, 2017. 348 с.

References

1. Kosolapov V. M., Chernyavskikh V.I., Kostenko S.I. New varieties of forage crops and technologies for Russian agriculture // Kormoproizvodstvo. 2021. No. 6. P. 22–26.
2. Kosolapov V.M., Kostenko S.L., Pilipko S.V. Directions and tasks of breeding of forage grasses in Russia // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2018. Vol. 32. No. 2. P. 21–24. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10205.
3. Solodkaya L. A., Lapotyshkina L. I., Agafodorova M. N., Kosolapov V. M. Biotechnology in the breeding of acid-resistant red clover with high seed productivity // Kormoproizvodstvo. 2022. No. 6. P. 22–26.
4. Burtseva N. I., Molokantseva E. I. Obtaining seeds of meadow clover in the Lower Volga region under irrigation // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 08 (211). P. 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-211-08-2-10.
5. Akmanayev E. D. Yield formation of single- and double crop red clover depending on agrometeorological conditions // Perm Agrarian Journal. 2018. No. 3 (23). P. 30–34.
6. Kasatkina N. I., Neliubina Zh. S. Seed productivity of tetraploid giant clover in dependence on the way and time of harvesting // Vestnik NGAU. 2016. No. 3 (40). P. 13–18.
7. Novoselov M. Yu., Drobysheva L. V., Matveeva O. S., Zyatchina G. P., Starshinova O. A., Odnovorova A. A., Zashimenko E. M. Current approaches in breeding of red clover for Russian fodder production // Zemledelie. 2014. No. 2. P. 43–46.
8. Kasatkina N. I. Seed productivity of tetraploid red clover in dependence on technological means // Vestnik NGAU. 2017. No. 2 (43). P. 32–40.
9. Zar'yanova Z. A., Kiryukhin S. V. Parameters of selection of promising material for breeding red clover in the conditions of the Central Black Earth region of the Russian Federation // Legumes and Groat Crops. 2020. No. 3 (35). P. 128–133. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11195.
10. Tormozin M. A., Nagibin A. E., Zyryantseva A. A. Valuable on a number of grounds samples of red clover in the Urals // Agrarian Bulletin of the Urals. 2018. No. 10 (177). P. 16–22. DOI: 10.32417/article_5c1a8b6bd0d3a0.35414551.
11. Novoselov M. Yu., Drobysheva L. V., Starshinova O. A., Rekashev E. S., Odnovorova A. A. Cultivation practices improving seed productivity of tetraploid red clover // Kormoproizvodstvo. 2019. No. 11. P. 32–36.
12. Zolotarev V. N., Kosolapov V. M., Perepravo N. I. The state of grass cultivation and prospects of development of seed production of perennial grasses in Russia and in the Volga-Vyatka region // Agricultural Science Euro-North-East. 2017. No. 1 (56). P. 28–34.
13. Donskikh N. A., Umanets M. S. Comparative assessment of seed productivity of meadow clover varieties in the conditions of the Leningrad region // Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University. 2021. No. 3 (64). P. 15–23. DOI: 10.24412/2078-1318-2021-3-15-23.
14. Spiridonova A. M. Seed productivity of meadow clover of various varieties // Proceedings of the International Conference “Modern Trends in Agriculture”. Kazan: IP Sinyayev D. N., 2014 P. 119–121.

15. Zolotarev V. N. Conjugacy of seed productivity meadow clover with herbage lodging // Adaptive Fodder Production. 2022. No. 1. P. 13–25. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2022-1-13-25.
16. Zaryanova Z. A. Increasing the yield of red clover sees due to activating the pollination function of bees // Adaptive Fodder Production. 2020. No. 3. P. 12–24. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-3-12-24.
17. Methodological guidelines for conducting field experiments with forage crops. Moscow: VNIIC, 1997. 197 p.
18. Methodology of State variety testing of agricultural crops // Ed. by Fedin M. A. Moscow: Kolos, 1985. 269 p.
19. Methodological guidelines for the selection and primary seed production of clover // Ed. by Shamsutdinov Z. S., Novoselova A. S., Bekuzarova S. A. Moscow: VNIIC, 2002. 72 p.
20. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kolos, 1968. 336 p.
21. Wide unified classifier of CMEA of the genus *Trifolium* L. // Compilers Uzhik M., Mukhina N. [et al.]. Leningrad: VIR, 1983. 30 p.
22. Korelina V. A. Influence of abiotic factors on seed productivity of red clover (*Trifolium pratense* L.) in subarctic conditions of the Russian Federation // Adaptive Fodder Production. 2019. No. 2. P. 40–47. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-40-47.
23. Antonov V. I., Laretin N. A., Volkova T. I. Efficiency of red clover pollination by bees // Kormoproizvodstvo. 2016. No. 4. P. 34–38.
24. Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S., Fatykhov I. Sh. Duration of seed grass-stand use of perennial leguminous grasses // Izvestiya of TAA. 2021. No. 4. P. 51–62. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-4-51-62.
25. Zaryanova Z. A. Seed productivity of varieties of meadow clover of various maturity in the conditions of northern part of Central Black Earth region of the Russian Federation // Legumes and Groat Crops. 2012. No. 2. P. 108–115.
26. Polyudina R. I. Clover in Siberia. Monograph. Novosibirsk: SFSCA RAS, 2017. 348 p.

UDC 633.321:631.559

Shikhova I. V., Arzamasova E. G., Popova E. V.

STUDY OF *TRIFOLIUM PRATENSE* L. BREEDING POPULATIONS SEED PRODUCTIVITY UNDER CONDITIONS OF THE KIROV REGION

Summary. *To meet the needs of production, it is necessary to create high-quality varieties of red clover that have fodder value, as well as seed productivity. The purpose of the research was to study seed yield and fruiting indicators of breeding populations of red clover in the Nursery for Assessing Seed Productivity and identify the most promising ones. The object of the research – six populations of various breeding origin; standard – zoned variety ‘Dymkovsky’. During the growing season, weather conditions were contrasting (2020 was moderately warm with sufficient moisture supply; 2021 – warm and hot with rare precipitation), which affected the quality of seed material. For two years of research (2020–2021), the following breeding populations were identified: by seed yield – ‘P-15’ (2.14 centners per hectare) and ‘GPR-32-2F1’ (1.99 centners per hectare), which significantly exceeded the standard values (1.58 centners per hectare, $LSD_{05} = 0.39$ centners per hectare); by fruiting parameters – ‘P-15’ and ‘SGPF-159-3’ with good seed setting (39.0 and 42.0 %), inflorescence seeding (32.4 and 37.7 %), the number of seeds in the head (37.2 and 41.3 pcs.) and 1,000 seeds weight (1.68 and 1.74 g). During both years of use, in the “flowering–ripening” period, we revealed a correlation dependence between the yield and average air temperature ($r = -0.74$ and $r = 0.68$, $p \leq 0.1$), as well as between the yield and amount of precipitation ($r = 0.61$ and $r = 0.54$, $p \leq 0.1$). In addition, during the specified interphase period, a negative correlation was established between the seed setting in the heads and sum of active temperatures (above 10 °C) ($r = -0.62$ and $r = -0.61$, $p \leq 0.1$), as well as between the seed setting in the heads and the amount of precipitation ($r = -0.77$ and $r = -0.41$, $p \leq 0.1$). The isolated populations will be used in further breeding work as sources of increased seed productivity.*

Keywords: *red clover (*Trifolium pratense* L.), breeding population, weather conditions, yield, fruiting indicators, head seeding, correlation coefficient.*

Шихова Ирина Витальевна, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства многолетних трав, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; г. Киров, ул. Ленина, 166 а, 610007, Россия; e-mail: travy@fanc-sv.ru.

Арзамасова Екатерина Геннадьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией селекции и первичного семеноводства многолетних трав ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; г. Киров, ул. Ленина, 166 а, 610007, Россия; e-mail: travy@fanc-sv.ru.

Попова Евгения Валериевна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства многолетних трав ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; г. Киров, ул. Ленина, 166 а, 610007, Россия; e-mail: travy@fanc-sv.ru.

Shikhova Irina Vitalievna, junior researcher, Laboratory of breeding and primary seed growing of perennial grasses, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 166 a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: travy@fanc-sv.ru.

Arzamasova Ekaterina Gennadievna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, head of the Laboratory of breeding and primary seed growing of perennial grasses, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 166 a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: travy@fanc-sv.ru.

Popova Evgenia Valeryevna, Cand. Sc. (Agr.), researcher, Laboratory of breeding and primary seed growing of perennial grasses, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 166 a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: travy@fanc-sv.ru.

Дата поступления в редакцию – 22.02.2023.

Дата принятия к печати – 01.04.2023.

Свободная цена