

УДК 579.64:633.111.1:631.576.331.2

DOI: 10.5281/zenodo.7898552

EDN IMXDLQ

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

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

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

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

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

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

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

Введение

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Материалы и методы исследований

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

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

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

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

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

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

Результаты и их обсуждение

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

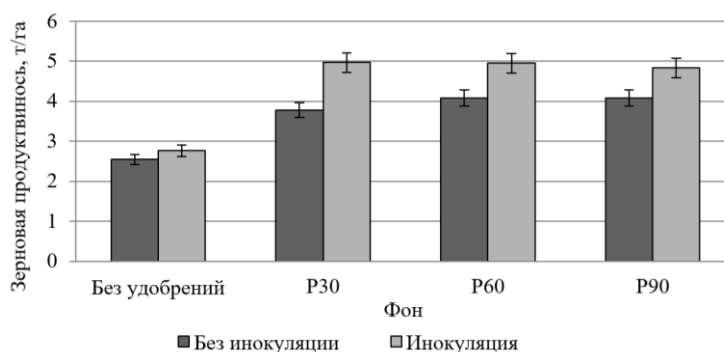


Рисунок 1 – Зерновая продуктивность озимой пшеницы (среднее за 2016–2019 гг.)

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

зависимости от фона удобрений. Однако наиболее высокие показатели урожайности озимой пшеницы отмечены при совместном применении препаратов «Аммофос» из расчета P_{30} и «Фосфостим-Агро».

Таким образом, результаты трехлетних полевых исследований показали перспективу совместного применения микробного препарата «Фосфостим-Агро» и удобрения «Аммофос» из расчета P_{30} при выращивании озимой пшеницы в агроклиматических условиях Крыма.

На рисунке 2 представлены результаты содержания клейковины в зерне озимой пшеницы. Наши исследования свидетельствуют о позитивном влиянии высоких доз минеральных удобрений на содержание клейковины в зерне пшеницы: на фоне P_{60} (III) и P_{90} (IV) показатели возрастали до 27,3 % против 19,2 % в контроле (I).

Количество клейковины в зерне возрастало также в случае применения микробного препарата для предпосевной инокуляции семян: как при совместном применении с минеральными удобрениями, так и на участках без их внесения. Однако наибольшая эффективность «Фосфостим-Агро» отмечена при совместном применении с минеральным удобрением из расчета P_{30} (II): содержание клейковины в зерне возрастало до 28,0 % против 21,2 % в контроле (без инокуляции).

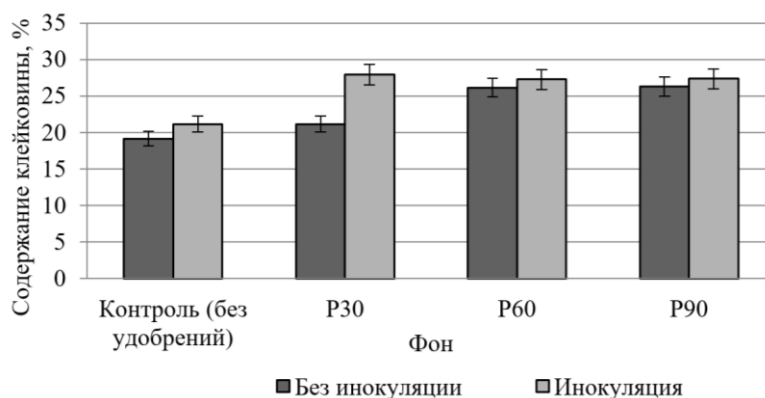


Рисунок 2 – Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы (среднее за 2016–2019 гг.)

Результаты наших опытов показали, что содержание белка в зерне озимой пшеницы зависит как от дозы внесения минеральных удобрений, так и от применения микробного препарата (рисунок 3).

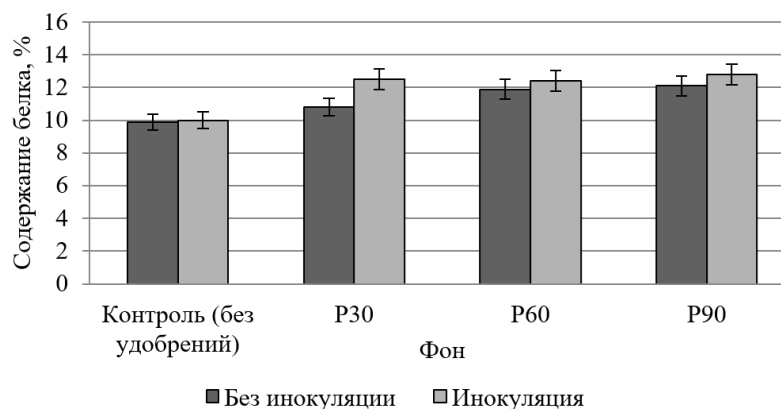


Рисунок 3 – Содержание белка в зерне озимой пшеницы (среднее за 2016–2019 гг.)

Внесение «Аммофоса» из расчета P₃₀ (II), P₆₀ (III) и P₉₀ (IV) способствовало увеличению содержания протеина в зерне до 12,4 % 12,5 % и 12,8 % против 9,9 % на участке без удобрения. Однако, наиболее благоприятной дозой минеральных удобрений, обеспечивающей позитивный эффект предпосевной бактериализации семян, является P₃₀. Так, содержание белка в зерне при использовании «Фосфостим-Агро» в этих условиях возросло до 12,5 % против 10,8 % в контроле (без инокуляции).

Итак, применение микробного препарата «Фосфостим-Агро» для предпосевной инокуляции семян озимой пшеницы в почвенно-климатических условиях Крыма способствует повышению качества зерна (увеличение содержания белка и клейковины). Установлено, что наиболее благоприятной дозой минеральных удобрений, обеспечивающей позитивный эффект препарата «Фосфостим-Агро», является их применение из расчета P₃₀: содержание белка в зерне возросло до 12,5 %, клейковины – до 28,0 % против 10,8 % и 21,2 % в контроле соответственно.

Результаты, полученные в наших экспериментах, показали также положительное воздействие совместного применения «Фосфостим-Агро» и «Аммофоса» на аминокислотный состав растительных белков в зерне озимой пшеницы (таблица 1). Выявлено, что применение минеральных удобрений способствовало возрастанию количества каждой из аминокислот в зерне пшеницы: как заменимых, так и незаменимых, что свидетельствует о повышении качества продукции. Однако, наибольшее увеличение содержания аминокислот в зерне пшеницы произошло за счет заменимых аминокислот, а именно глутаминовой: ее содержание в зерне бактеризованных растений (P₃₀) возросло в 1,7 раза против контроля и составляло 4, 815 и 2,760 мг/100 мг исходного вещества соответственно. Следует отметить, что при совместном применении микробного препарата и внесении минеральных удобрений из расчета P₃₀ содержание аминокислот в зерне превышало не только значения контроля (без удобрения), но и варианты с внесением высоких доз удобрений (P₆₀ и P₉₀).

Таблица 1 – Содержание аминокислот в зерне озимой пшеницы, мг/100 мг исходного вещества (среднее за 2016–2019 гг.)

Аминокислота	Вариант				
	контроль (без удобрений)	P ₃₀		P ₆₀	P ₉₀
		без инокуляции	инокуляция		
незаменимые аминокислоты, в том числе:					
Валин	0,236	0,268	0,317	0,287	0,293
Изолейцин	0,173	0,202	0,227	0,208	0,227
Лейцин	0,502	0,579	0,745	0,641	0,667
Лизин	0,183	0,209	0,250	0,215	0,221
Метионин	0,189	0,197	0,189	0,243	0,275
Треонин	0,177	0,256	0,242	0,209	0,215
Триптофан	0,128	0,147	0,136	0,154	0,152
Фенилаланин	0,226	0,262	0,314	0,289	0,288
заменяемые аминокислоты, в том числе:					
Аланин	0,185	0,216	0,244	0,214	0,226
Аргинин	0,256	0,324	0,327	0,300	0,307
Аспарагиновая кислота	0,340	0,369	0,469	0,380	0,412
Гистидин	0,113	0,134	0,164	0,139	0,147
Глицин	0,292	0,339	0,421	0,366	0,377
Глутаминовая кислота	2,760	3,324	4,815	3,893	4,171
Цистин	0,154	0,172	0,170	0,178	0,202
Серин	0,301	0,339	0,457	0,382	0,400
Тирозин	0,134	0,149	0,168	0,160	0,174
Сумма	6,349	7,486	9,655	8,258	8,754

При совместном применении «Фосфостим-Агро» и «Аммофоса» из расчета P₃₀ выявлена тенденция к возрастанию суммарного содержания аминокислот в зерне пшеницы: их количество достигало 9,655 мг/100 мг исходного вещества и превышало на 52 %, 29 %, 17 % и 10 % показатели контроля (без удобрений), P₃₀, P₆₀ и P₉₀ соответственно.

Как было отмечено выше, аминокислота пролин играет важную роль в адаптации растений к различным стресс-факторам и в частности к засухе, что является весьма актуальным для климатических условий Крыма. Результаты наших исследований показали, что внесение минеральных удобрений способствует снижению содержания свободного пролина в зерне озимой пшеницы по сравнению с контролем: с 4,3 мг/% до 3,3 мг/% (рисунок 4). Применение «Фосфостим-Агро» для предпосевной инокуляции семян также уменьшало накопление свободного пролина в зерне пшеницы как в контрольном варианте (до 3,9 мг/%), так и при совмещении с «Аммофосом» – до 3,5–3,6 мг/%.

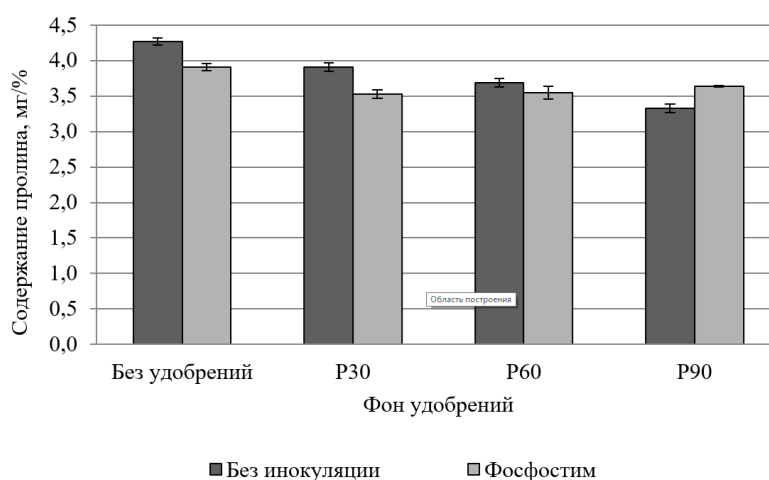


Рисунок 4 – Содержание свободного пролина в зерне озимой пшеницы (среднее за 2016–2019 гг.)

Результаты статистического анализа дают возможность предположить, что возрастание содержания свободного пролина в зерне озимой пшеницы вследствие стресса, оказываемого почвенно-климатическим условиями, отрицательно сказывалось на продуктивности растений и качестве урожая. Так, при повышении уровня содержания свободного пролина в зерне отмечается уменьшение содержания протеина ($r = -0,69$) и клейковины ($r = -0,70$), а также снижение зерновой продуктивности пшеницы озимой ($r = -0,72$): связь обратная средней силы (таблица 2). Также выявлено, что повышение содержания протеина в зерне озимой пшеницы способствовало возрастанию содержания клейковины в пшенице: связь прямая, тесная ($r = 0,95$). Нами установлена прямая, сильная связь между зерновой продуктивностью и качеством получаемой продукции: коэффициент корреляции равен 0,92.

Таблица 2 – Корреляционные зависимости между показателями качества зерна, продуктивностью озимой пшеницы и содержанием свободного пролина

Показатель	Свободный пролин, мг/%	Белок, %	Клейковина, %
Белок, %	-0,69	–	–
Клейковина, %	-0,70	0,95	–
Зерновая продуктивность, т/га	-0,72	0,92	0,92

Похожие результаты воздействия микробных препаратов на качество зерновой продукции отмечены и в литературных источниках. Показано, что применение на дерново-подзолистой супесчаной почве препарата «Калиплант» способствовало повышению содержания белка в зерне озимых зерновых культур (ржи и тритикале – на 0,4–0,5 % и 0,7–1,3 % соответственно). Отмечено также улучшение аминокислотного состава белка: для озимой ржи *skor* критических аминокислот возрастал на 5–8 %, незаменимых – на 7–11 %; озимого тритикале – на 2–7 и 2–6 % соответственно [36].

В условиях юго-востока Западной Сибири проведена оценка влияния диазотрофной предпосевной бактериализации на биологическую и пищевую ценность зерна ячменя. Бактеризацию семян перед посевом осуществляли торфяной формой биопрепарата «Ризоагрин-Б» в количестве 600 г на гектарную норму (4,5 млн всхожих семян на 1 га). Установлено, что в зерне ячменя, полученного от бактеризованных растений, увеличилось содержание белка на 1,9 % (до 13,70 %) и сумма аминокислот – на 23,3 % (до 10,79 г/100 г), а также содержание всех незаменимых аминокислот [37].

Таким образом, совместное применение микробного препарата «Фосфостим-Агро» (основа *L. nimipressuralis* ССМ 32-3) для предпосевной инокуляции семян и минерального удобрения «Аммофос» (P₃₀) способствует накоплению аминокислот в зерне пшеницы в количестве, эквивалентном внесению удобрений из расчета P₉₀. Проведенные исследования стали основой для получения патента на изобретение [38].

Выводы

Установлено положительное влияние микробного препарата «Фосфостим-Агро» (основа *L. nimipressuralis* ССМ 32-3) на урожайность и качественные показатели зерна озимой пшеницы: увеличение содержания белка, клейковины, накопление аминокислот. Совместное применение препарата «Фосфостим-Агро» для предпосевной инокуляции семян озимой пшеницы и стартовое внесение минерального удобрения «Аммофос» из расчета P₃₀ позволило повысить зерновую продуктивность и качество урожая озимой пшеницы в почвенно-климатических условиях Крыма. При этом существенно снижается норма внесения минеральных удобрений, что ведет к снижению материальных затрат и уменьшению антропогенной нагрузки на окружающую среду. Установлено, что наиболее высокие показатели получены при совместном применении микробного препарата и «Аммофоса» (из расчета P₃₀): отмечено достоверное увеличение зерновой продуктивности озимой пшеницы на 31,5 % по сравнению с контролем. При этом в зерне возрастало содержание белка и клейковины: до 12,5 % и 28,0 % против 10,8 % и 21,2 % в контроле соответственно. Выявлено также, что совместное применение «Фосфостим-Агро» и удобрения «Аммофос» (P₃₀) способствовало накоплению суммарного содержания аминокислот в зерне пшеницы в количестве эквивалентном варианту, где внесено минеральное удобрений из расчета P₉₀.

Литература

1. Ториков В. Е., Мельникова О. В., Мамеев В. В., Ториков В. В., Осипов А. А. Влияние системы удобрений на агроэкологические свойства почвы, урожайность, содержание сырой клейковины, аминокислотного и элементного состава в зерне мягкой озимой пшеницы // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 1(46). С. 8–20.
2. Кубасов И. А. Формирование продуктивности и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от степени обеспеченности луговой черноземовидной почвы подвижным фосфором // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4(32). С. 122–130. EDN: AMSJMF.
3. Биорегуляция микробно-растительных систем: монография // Под ред. Иутинской Г. А., Пономаренко С. П. Киев: Ничлава, 2010. 464 с.

4. Завалин А. А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: Издательство ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2005. 302 с.
5. Тихонович И. А., Проворов Н. А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 3–9.
6. Тихонович И. А., Завалин А. А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации в РФ // Плодородие. 2016. № 5(92). С. 28–32.
7. Mostafiz S. B., Rahman M., Md. Mizanur, Rahman Md. Mostafizur. Biotechnology: role of microbes in sustainable agriculture and environmental health // The Internet Journal of Microbiology. 2012. Vol. 10(1). P. 1937–8289. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ispub.com/IJMB/10/1/14136> (дата обращения 30.03.2022).
8. Antoun H. Beneficial microorganisms for the sustainable use of phosphates in agriculture // Procedia Engineering. 2012. Vol. 46. P. 62–67. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.09.446.
9. Jain P., Khichi D. S. Phosphate solubilizing microorganism (PSM): an ecofriendly biofertilizer and pollution manager // Journal of Dynamics in Agricultural Research. 2014. Vol. 1(4). P. 23–28.
10. Чеботар В. К., Завалин А. А., Кипрушкина Е. И. Эффективность применения биопрепарата «Экстрасол». М.: Издательский дом ВНИИ Агрохимии, 2007. 216 с.
11. Завалин А. А., Кожемяков А. П. Новые технологии производства и применения биопрепаратов комплексного действия. Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2010. 64 с.
12. Кожемяков А. П., Лактионов Ю. В., Попова Т. А., Орлова А. Г., Кокорина А. Л., Вайшла О. Б., Агафонов Е. В., Гущин С. А., Чураков А. А., Яковлева М. Т. Агротехнологические основы создания усовершенствованных форм микробных биопрепаратов для земледелия // Сельскохозяйственная биология. 2015. Вып. 50(3). С. 369–376. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.3.369.
13. Іутинська Г. О., Білявська Л. О., Титова Л. В., Леонова Н. О., Ямборко Н. А., Петрук Т. В., Вознюк С. В., Литовченко А. М. Мікробні препарати для рослинництва. Методичні рекомендації. Київ: Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, 2017. 84 с.
14. Sharma S. B., Sayyed R. Z., Trivedi M. H., Gobi T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for the managing phosphorus deficiency in agricultural soils // Springer Plus. 2013. Vol. 2(1). P. 587. DOI: 10.1186/2193-1801-2-587.
15. Khan M. S., Zaidi A., Musarrat J. Phosphate solubilizing microorganisms: principles and application of microphos technology. Springer International Publishing, 2014. 307 p. DOI: 10.1007/978-3-319-08216-5.
16. Selvi K. B., Paul J. J. A., Vijaya V., Saraswathi K. Analyzing the efficacy of phosphate solubilizing microorganisms by enrichment culture techniques // Biochemistry and Molecular Biology Journal. 2017. Vol. 3. P. 1. DOI: 10.21767/2471-8084.100029.
17. Kumar A., Kumar A., Patel H. Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. Vol. 7(5). P. 1344–1347. DOI: 10.20546/ijcmas.2018.705.161.
18. Чайковская Л. А., Ключенко В. В., Баранская М. И., Овсиенко О. Л. Фосфатмобилизующие бактерии в агроценозах Крыма: монография // Под ред. Чайковской Л. А. Симферополь: “АРИАЛ”, 2018. 156 с.
19. Kalayu G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers // International Journal of Agronomy. 2019. Vol. 2019. Art. No. 4917256. DOI: 10.1155/2019/4917256.
20. Kozulina N. S., Fomina L. V., Shmeleva Zh. N. The extreme factors influence on the grain quality technological indicators of spring wheat of Siberian selection // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, 2020. Vol. 548. Art. No. 022060. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022060.
21. Мейлиев А. Х. Т., Тошметова Ф. Н. Отбор сортов твёрдой пшеницы преобладающих хозяйственно-ценными признаками // Life Sciences and Agriculture. 2020. № 2–3(7). С. 38–41.
22. Кондратенко Е. П., Константинова О. Б., Соболева О. М., Ижмулкина Е. А., Вербицкая Н. В., Сухих А. С. Содержание белка и аминокислот в зерне озимых культур, произрастающих на территории Лесостепи юго-востока западной Сибири // Химия растительного сырья. 2015. № 3. С. 143–150. DOI: 10.14258/jcpr.201503754.
23. Галушко Н. А., Соколенко Н. И. Важнейшие критерии отбора на качество зерна в селекции озимой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2021. №. 4(28). С. 50–57. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-50-57.
24. Ибрагимова С. С., Горелова В. В., Кочетов А. В., Шумный В. К. Роль различных метаболитов в формировании стрессоустойчивости растений // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Биология, клиническая медицина. 2010. Т. 8(3). С. 98–103.

25. Szabados L., Saviouré A. Proline: a multifunctional amino acid // Trends Plant Sci. 2010. Vol. 15(2). P. 89–97.
26. Кривобочек В. Г., Стаценко А. П., Тразанова Е. А., Курьшев И. А. Свободный пролин – биохимический показатель солеустойчивости растений // Аграрный научный журнал. 2017. №1. С. 16–19.
27. Абилова Г. А. Влияние ионов кадмия и свинца на рост и содержание пролина в растениях тритикале (*Triticum secale* Wittm.) // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 11. С. 27–32. DOI: 10.17076/eb424.
28. Стаценко А. П., Капустин Д. А., Юрова Ю. А. Стресс-индуцированный пролин в растениях пшеницы в условиях засухи // Сборник статей XII Международной научно-практической конференции «Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России». Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2014. С. 85–87.
29. Аллагулова Ч. Р., Ласточкина О. В. Снижение уровня окислительного стресса в растениях пшеницы под влиянием эндофитных бактерий в условиях засухи // Экобиотех. 2020. Т. 3. № 2. С. 129–134. DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-2-129-134.
30. Lastochkina O., Aliniaefard S., Seifikalhor M. [et al.]. Plant growth-promoting bacteria: biotic strategy to cope with abiotic stresses in wheat // In book: Wheat Production in Changing Environments. Ed. by M. Hasanuzzaman, K. Nahar, Md. A. Hossain. Springer, Singapore, 2019. P. 579–614. DOI: 10.1007/978-981-13-6883-7_23.
31. Кривобочек В. Г., Стаценко А. П., Городничев А. А. Пролиновый индекс как оценочный показатель морозостойкости озимой пшеницы // Вестник Саратовского государственного агроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2012. № 4. С. 15–16.
32. Патент РФ № 2676926. Фосфатмобилизующий штамм почвенных бактерий *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3 и биопрепарат на его основе для оптимизации минерального питания растений, стимуляции их роста и повышения урожайности // Авторы: Чайковская Л. А., Мельничук Т. Н., Каменева И. А., Баранская М. И., Овсиенко О. Л. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». 2019. Бюлл. № 2. 12 с.
33. Определение серосодержащих аминокислот и общей серы в растительном материале: методические рекомендации // Сост.: Зелинский В. Г., Ревякина Л. Я., Выхристенко Л. П. Одесса: ВСГИ, 1988. 16 с.
34. Bates L. S., Waldren R.P., Teare I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies // Plant Soil. 1973. No. 39. P. 205–207. DOI: 10.1007/BF00018060.
35. Доспехов Б. А. Методы полевых исследований. М.: Книга по требованию, 2012. 351 с.
36. Лапа В. В., Михайловская Н. А., Барашенко Т. Б. Эффективность бактериального удобрения Калиплант на дерново-подзолистой супесчаной почве с разной обеспеченностью подвижным калием // Агрохимия. 2016. № 6. С. 29–38.
37. Соболева О. М., Кондратенко Е. П., Сухих А. С. Повышение биологической ценности зерна ячменя при diaзотрофной бактериализации // Достижения науки и техники АПК. 2019. Вып. 33. №. 12. С. 98–101. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11221.
38. Патент РФ № 20760750. Способ выращивания озимой пшеницы в условиях южных регионов России // Авторы: Чайковская Л. А., Ключенко В. В., Баранская М. И., Овсиенко О. Л., Клименко Н. Н. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». 2021. Бюлл. № 34. 12 с.

References

1. Torikov V. E., Melnikova O. V., Mameev V. V., Torikov V. V., Osipov A. A. Influence of fertilizer on agroecological soil properties, yield, crude gluten, amino acid and elemental composition in the grain of soft winter wheat // The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2016. No. 1(46). P. 8–20.
2. Kubasov I. A. Formation of productivity and grain quality of spring wheat depending on the degree of provision of meadow chernozem soil with mobile phosphorus // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 4(32). P. 122–130. EDN: AMSJMF.
3. Bioregulation of microbial-plant systems: monograph // Ed. by Iutynskaya G. A., Ponomarenko S. P. Kyiv: Nichlava, 2010. 464 p.
4. Zavalin A. A. Biopreparations, fertilizers and harvest. Moscow: All-Russian scientific-research institute of agrochemistry named by D. N. Pryanishnikov Publ., 2005. 302 p.
5. Tikhonovich I. A., Provorov N. A. Agricultural microbiology as the basis of ecologically sustainable agriculture: fundamental and applied aspects // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2011. No. 3. 3–9.
6. Tikhonovich I. A., Zavalin A. A. Application potential of nitrogen-fixing and phytostimulating microorganisms for increasing the efficiency of the agroindustrial complex and improving the agroecological situation in Russian Federation // Plodorodie. 2016. Vol. 5(92). P. 28–32.

7. Mostafiz S. B., Rahman Md. Mizanur, Rahman Md. Mostafizur. Biotechnology: role of microbes in sustainable agriculture and environmental health // The Internet Journal of Microbiology. 2012. Vol. 10 (1). P. 1937–8289. [Electronic resource]. Access point: <https://ispub.com/IJMB/10/1/14136> (reference's date 30.03.2022).
8. Antoun H. Beneficial microorganisms for the sustainable use of phosphates in agriculture // Procedia Engineering. 2012. Vol. 46. P. 62–67. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.09.446.
9. Jain P., Khichi D. S. Phosphate solubilizing microorganism (PSM): an ecofriendly biofertilizer and pollution manager // Journal of Dynamics in Agricultural Research. 2014. Vol. 1(4). P.23–28.
10. Chebotar V. K., Zavalin A. A., Kiprushkina E. I. Efficiency of application of biopreparation Extrasol. Moscow: Publishing house of All Russia Research Institute of Agrochemistry, 2007. 216 p.
11. Zavalin A. A., Kozhemyakov A. P. New technologies and complex biological products application. Saint Petersburg: KHIMIZDAT, 2010. 64 p.
12. Kozhemyakov A. P., Laktionov Yu. V., Popova T. A., Orlova A. G., Kokorina A. L., Vaishlya O. B., Agafonov E. V., Guzhvin S. A., Churakov A. A., Yakovleva M. T. The scientific basis for the creation of new forms of microbial biochemical // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2015. Vol. 50(3). 369–376. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.3.369.
13. Iutynska G. O., Biliavska L. O., Titova L. V., Leonova N. O., Yamborko N. A., Petruk T. V., Vozniuk S. V., Litovchenko A. M. Microbial bioformulations for plant growing. Methodical recommendations. Kyiv: Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of NAS of Ukraine, 2017. 84 p.
14. Sharma S. B., Sayyed R. Z., Trivedi M. H., Gobi T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils // Springer Plus. 2013. Vol. 2(1). P. 587. DOI: 10.1186/2193-1801-2-587.
15. Khan M. S., Zaidi A., Musarrat J. Phosphate solubilizing microorganisms: principles and application of microphos technology. Springer International Publishing, 2014. 307 p. DOI: 10.1007/978-3-319-08216-5.
16. Selvi K. B., Paul J. J. A., Vijaya V., Saraswathi K. Analyzing the efficacy of phosphate solubilizing microorganisms by enrichment culture techniques // Biochemistry and Molecular Biology Journal. 2017. Vol. 3. P. 1. DOI: 10.21767/2471-8084.100029.
17. Kumar A., Kumar A., Patel H. Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. Vol. 7 (5). P. 1344–1347. DOI: 10.20546/ijcmas.2018.705.161.
18. Chaikovskaya L. A., Klyuchenko V. V., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L. Phosphate-mobilizing bacteria in agrocenoses of the Crimea: monography // Ed. by Chaikovskaya L. A. Simferopol: Publishing house "ARIAL", 2018. 156 p.
19. Kalayu G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers // International Journal of Agronomy. 2019. Vol. 2019. Art. No. 4917256. DOI: 10.1155/2019/4917256.
20. Kozulina N. S., Fomina L. V., Shmeleva Zh. N. The extreme factors influence on the grain quality technological indicators of spring wheat of Siberian selection // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. 2020. Vol. 548. Art. No. 022060. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022060.
21. Meiliev A. Kh., Toshmetova F. N. Selection of durum wheat varieties with predominant economically valuable traits // Life Sciences and Agriculture. 2020. No. 2–3 (7). P. 38–41.
22. Kondratenko E. P., Konstantinova O. B., Soboleva O. M., Izmulkina E. A., Verbitskaya N. V., Sukhikh A. S. The content of protein and amino acids in grain of winter crops growing on the territory of forest-steppe south-east of western Siberia // Khimija rastitel'nogo syr'ja (Chemistry of plant raw material). 2015. No. 3. P. 143–150. DOI: 10.14258/jcprm.201503754.
23. Galushko N. A., Sokolenko N. I. The most important selection criteria in winter wheat breeding for grain quality // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 50–57. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-50-57.
24. Ibragimova S. S., Gorelova V. V., Kochetov A.V., Shumny V. K. Role of plant metabolites in mechanisms of stress tolerance // Bull. of Novosibirsk State University. Series: Biology, Clinical Medicine. 2010. Vol. 8(3). P. 98–103.
25. Szabados L., Savouré A. Proline: a multifunctional amino acid // Trends in plant science. 2010. Vol. 15(2). P. 89–97. DOI: 10.1016/j.tplants.2009.11.009.
26. Krivobochechek V. G., Statsenko A. P., Trazanova E. A., Kuryshv I. A. Free proline – biochemical indicator of plant salt tolerance //The Agrarian Scientific Journal. 2017. No. 1. P. 16–19.
27. Abilova G. A. Effect of cadmium and lead ions on the growth and content of proline in plants of triticale (*Triticosecale* Wittm.) // Proceedings of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences. 2016. No. 11. P. 27–32. DOI: 10.17076/eb424.

28. Statsenko A. P., Kapustin D. A., Yurova Yu. A. Stress-induced proline in wheat plants under drought // Collection of articles of the XII International Scientific and Practical Conference “Natural resource potential, ecology and sustainable development of Russian regions”. Penza: Penza State Agrarian University, 2014. P. 85–87.
29. Allagulova Ch. R., Lastochkina O. V. Alleviation of drought-induced oxidative stress in wheat plants under the influence of endophytic bacteria // *Ecobiotech.* 2020. Vol. 3(2). P. 129–134. DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-2-129-134.
30. Lastochkina O., Aliniaiefard S., Seifikalhor M., Yuldashev R., Pusenkova L., Garipova S. Plant growth-promoting bacteria: biotic strategy to cope with abiotic stresses in wheat // In book: *Wheat Production in Changing Environments*. Ed. by M. Hasanuzzaman, K. Nahar, Md. A. Hossain. Springer Singapore, 2019. P. 579–614. DOI: 10.1007/978-981-13-6883-7_23.
31. Krivobochev V. G., Statsenko A. P., Gorodnichev A. A. Proline index as an estimate of frost resistance winter wheat // *Bull. of Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov.* 2012. No. 4. P. 15–16.
32. Patent RF No. 2676926. Phosphate-mobilizing strains of soil bacteria *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3 and biopreparation on its basis for the optimization of mineral nutrition of plants, stimulates their growth and increase yields application // Authors: Chaikovskaya L. A., Melnichuk T. N., Kameneva I. A., Baranskaya M. I., Ovsienko, O.L. Patentee: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. 2019. Bul. No. 2. 12 p.
33. Determination of sulfur-containing amino acids and total sulfur in plant material: methodological recommendations // Compilers: Zelinsky V. G., Revyakina L. Ya., Vykhristenko L. P. Odessa: All-Union Selection and Genetic Institute, 1988. 16 p.
34. Bates L. S., Waldren R.P., Teare I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studios // *Plant Soil.* 1973. No. 39. P. 205–207. DOI: 10.1007/BF00018060.
35. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 351 p.
36. Lapa V. V., Mikhailovskaya N. A., Barashenko T. B. The effectiveness of bacterial fertilizer Kaliplant on soddy-podzolic sandy loam soil with different sufficiency of moving potassium // *Agrohimia.* 2016. No. 6. P. 29–38.
37. Soboleva O. M., Kondratenko E. P., Sukhikh A. S. Increasing of the biological value of barley grain during diazotrophic inoculation // *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex.* 2019. Vol. 33(12). P. 98–101. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11221.
38. Patent RF No. 20760750. Method for growing winter wheat in the conditions of the southern regions of Russia // Authors: Chaikovskaya L. A., Klyuchenko V. V., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L., Klimenko N. N. Patentee: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. 2021. Bul. No.34. 12 p.

UDC 579.64:633.111.1:631.576.331.2

Chaikovskaya L. A., Iakusheva N. N., Ovsienko O. L., Baranskaya M. I.

YIELD AND QUALITY INDICATORS OF WINTER WHEAT GRAIN IN THE CONTEXT OF COMBINED USE OF A MICROBIAL PREPARATION AND MINERAL FERTILIZER

Summary. *It is a commonly known fact that large doses of mineral fertilizers increase grain crops' yield and quality. However, fertilization leads to undesirable effects – in particular, environmental pollution. This creates a need to replace mineral fertilizers, at least partially, with alternative methods. One of such methods is the use of microbial preparations in modern technologies for growing cereals. This research, therefore, aimed to study the effect of combined use of the microbial preparation “Phosphostim-Agro” (based on bacterium *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3) and mineral fertilizer Ammophos on winter wheat grain yield and quality indicators, namely the content of gluten, protein and amino acids under conditions of field experiments. The studies were conducted in 2016–2019 at the experimental fields of Agro-Industrial College – structural unit of V.I. Vernadsky Crimean Federal University (Simferopolsky district). Soil of the experimental plot – chernozem southern calcareous heavy loamy. The analysis of the field experiments showed that the combined use of the microbial preparation “Phosphostim-Agro” for presowing seed inoculation and mineral fertilizers Ammophos at the rate of P_{30} contributed to higher values of grain productivity: they reliably exceeded the control*

(without inoculation) by 31.5 %. The content of protein and gluten in the grain also increased up to 12.5 % and 28.0 %, while in the control, these figures were 10.8 % and 21.2 %, respectively. Combined use of the microbial preparation “Phosphostim Agro” and mineral fertilizers Ammophos at the rate of P_{30} contributed to the accumulation of the total content of amino acids in wheat grain in an amount equivalent to the application of fertilizers at the rate of P_{90} .

Keywords: *Triticum aestivum L.*, “Phosphostim-Agro”, Ammophos, gluten, protein, amino acids.

Чайковская Людмила Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295053, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Якушева Нина Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ninaklymenko@yandex.ru.

Овсиенко Ольга Леонидовна, старший научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295053, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: olovsiien@mail.ru.

Баранская Марина Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295053, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: baranskaya@rambler.ru.

Chaikovskaya Ludmila Aleksandrovna, Dr. Sc. (Agr.), senior researcher, chief researcher, Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295053, Russia; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Iakusheva Nina Nikolaevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295000, Russia; e-mail: ninaklymenko@yandex.ru.

Ovsienko Olga Leonidovna, senior researcher, Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295053, Russia; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Baranskaya Marina Ivanovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295053, Russia; e-mail: baranskaya@rambler.ru.

Дата поступления в редакцию – 25.12.2022.

Дата принятия к печати – 20.02.2023.