

DOI 10.33952/2542-0720-2020-4-24-49-61

УДК 631.461:579.64

Еговцева А. Ю.¹, Мельничук Т. Н.¹, Абдурашитов С. Ф.¹, Андронов Е. Е.²,
Абдурашитова Э. Р.¹, Радченко А. Ф.¹, Ганоцкая Т. Л.¹, Радченко Л. А.¹

**ВЛИЯНИЕ ШТАММОВ, АССОЦИАТИВНЫХ С *TRITICUM AESTIVUM* L.,
НА МИКРОБОЦЕНОЗ ЧЕРНОЗЕМА ЮЖНОГО РИЗОСФЕРЫ ПШЕНИЦЫ**

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

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии»

Реферат. Одним из перспективных приемов повышения продуктивности сельскохозяйственных культур является предпосевная инокуляция семян штаммами ассоциативных бактерий, способных стимулировать ростовые процессы растений, улучшать их минеральное питание, повышать фитоиммунитет и устойчивость к неблагоприятным воздействиям. Цель исследований – изучить влияние штаммов с высоким ассоциативным потенциалом к *Triticum aestivum* L. на микробоценоз чернозема южного ризосферы пшеницы мягкой различных сортов. Исследования проводили в 2018–2020 гг. на трех сортах – Ермак, Багира, Лидия. Опыты закладывали на делянках с учетной площадью 25 м² и систематическим размещением в четырехкратной повторности. Климат района исследования в Крыму характеризуется как засушливый. Инокуляцию осуществляли перед посевом семян пшеницы, контролем являлся вариант без обработки. Отборы проб осуществляли в самой активной фазе – цветение в мае 2019 и 2020 гг. Установлено, что под влиянием ассоциативных к *T. aestivum* штаммов бактерий происходят изменения численности микроорганизмов различных эколого-трофических групп чернозема южного ризосферы пшеницы. Выявлен наиболее отзывчивый на бактериализацию семян ассоциативными штаммами сорт Багира, увеличение урожайности в среднем за два года исследований находилось в пределах 0,2–0,4 т/га или 5–10%. Расчет коэффициентов и индексов, указывающих на направленность минерализационных процессов в почве, позволил установить, что инокуляция способствует их активизации. Результаты корреляционного анализа по двухлетним данным трех сортов пшеницы озимой показали, что на урожайность наибольшее влияние, с показателем корреляции 0,81 ($p \leq 0,05$), оказывает численность бактерий рода *Azotobacter*.

Ключевые слова: микробоценоз, ассоциативные штаммы, ризосфера, *Triticum aestivum* L., чернозем южный.

Введение

Одним из перспективных приемов повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, экологической устойчивости агроценозов и снижения влияния абиотических и биотических стрессов на продукционный процесс у растений является предпосевная инокуляция семян штаммами ассоциативных бактерий [1]. Ассоциативные микроорганизмы способны стимулировать ростовые процессы растений, улучшать их минеральное питание, повышать иммунитет растений [2, 3]. Вместе с тем для каждого вида и даже сорта растений необходим индивидуальный подбор штаммов, который наиболее соответствует биологическим характеристикам растительного организма, особенно специфике корневых экссудатов [4], определяющей приживаемость штаммов в ризосфере [5].

Стимулирующий эффект ассоциативных бактерий обеспечивают разнообразные механизмы: прямое поглощение минеральных элементов питания

(азотфиксация, перевод неорганических фосфатов в биологически доступную форму, производство сидерофоров, облегчающих поглощение ионов металлов и др.), синтез биологически активных гормоноподобных веществ, активация генов «устойчивости» растения, прямой антибиоз против болезнетворных микроорганизмов [6]. Полезные для растений ризобактерии могут снизить глобальную зависимость от опасных сельскохозяйственных химикатов, дестабилизирующих агроэкосистемы [7].

Знание закономерностей создания микробно-растительных систем и способов повышения их эффективности – одно из наиболее перспективных направлений совершенствования производства растениеводческой продукции.

Цель исследований – изучить влияние штаммов с высоким ассоциативным потенциалом к *Triticum aestivum* L. на микробоценоз чернозема южного ризосферы пшеницы мягкой различных сортов.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2018–2020 гг. на опытных полях ФГБУН «НИИСХ Крыма» (с. Клепинино Красногвардейского района) на трех сортах – Ермак, Багира и Лидия. Изучаемые сорта включены в Госреестр по Северо–Кавказскому (6) региону и являются перспективными для возделывания в условиях Крыма. Сорт Багира создан в Ставропольском НИИСХ, Ермак и Лидия – в АНЦ «Донской». Сорта относятся к степному экотипу, разновидности *erytrospermum* и являются среднеранними. Все сорта устойчивы к полеганию и засухе. Багира – среднезимостойкий, Ермак и Лидия отличаются высокой устойчивостью к низким температурам. Сорта Багира и Лидия относятся к среднерослым, Ермак – к короткостебельным. Сорта имеют среднюю устойчивость к основным заболеваниям. Ермак относится к сортам интенсивного типа, Багира и Лидия – универсального использования.

Опыты закладывали на делянках с учетной площадью 25 м² и систематическим размещением в четырехкратной повторности. Почвы степной зоны Крыма представлены черноземом южным слабо гумусированным, развитым на четвертичных желто-бурых лессовидных легких глинах. Мощность гумусового горизонта составляет 24–36 см, всего – 57–70 см. Содержание гумуса в пахотном горизонте составляет 2,4–2,7 %. В 100 г абсолютно сухой почвы пахотного слоя содержится 5,2 мг легкогидролизуемого азота, 1,0–2,5 мг подвижного фосфора, 42 мг подвижного калия (по Мачигину). Реакция почвенного раствора в верхнем горизонте слабощелочная (рН = 7,7–7,9).

Погодные условия в годы исследований были контрастными. Период выращивания пшеницы озимой в условиях 2018/19 гг. характеризовался благоприятными по влагообеспеченности условиями в осенний период, когда выпало 160 мм осадков, что на 70 мм выше среднеголетних значений. Метеорологические условия в период перезимовки озимых культур характеризовались повышенным температурным режимом (на 2–4 °С выше нормы), что приводило к временному возобновлению вегетации озимых. За зимний период выпало около 200 мм атмосферных осадков, что способствовало накоплению продуктивной влаги в метровом слое почвы до 150 мм. Всего за вегетацию озимых выпало 558,9 мм осадков (на 130,9 мм больше нормы). Осадки выпадали довольно неравномерно по месяцам и их недостаток отмечался в марте и мае (11,7 и 14,4 мм соответственно), когда озимые зерновые находились в фазе трубкования – наиболее критической по влагообеспечению и в период налива зерна.

Вегетационный период озимых культур 2019/20 гг. характеризовался неблагоприятными погодными условиями: длительное отсутствие осадков в осенние месяцы, повышенный температурный режим (в сентябре и октябре на 1,6 и 2,8 °С

выше нормы, в первой декаде ноября средняя температура воздуха превышала норму на 7–12 °С) и значительный недобор осадков в зимний период, сильные ветры и большое количество дней с относительной влажностью воздуха 30 % и ниже в марте и апреле, с продолжительными заморозками интенсивностью до –2 °С; атмосферная и почвенная засуха в период колошения. Температура декабря была на 5–6 °С выше нормы, январь и февраль также характеризовались повышенным температурным режимом, что способствовало вегетации озимых в течение всего зимнего периода. Условия для влагонакопления были неудовлетворительные, гидротермический коэффициент за весенний период 2020 г. составил 0,25. Продуктивные осадки отмечены в июне в фазе налива зерна, что привело к снижению качества зерна и затянуло уборку урожая.

Исследуемые штаммы ассоциативных бактерий к *T. aestivum* выделены с различных сортов в 2018 г. при использовании метода для получения изолированных от внешней среды корней в сосуде Леонарда [8]. Штаммы выделены из апикальной части корня следующих сортов: *Pseudomonas fluorescens* P4 – Виктории одесской, *Paenarthrobacter nitroguajacolicus* M3 и *Bacillus sp.* B5 – Ермака, *Agrobacterium tumefaciens* R1 – Багиры, *Paenarthrobacter nitroguajacolicus* L1 – Лидии. Инокуляцию осуществляли перед посевом семян пшеницы, контролем являлся вариант без обработки.

Отборы растений проводили в наиболее активной фазе развития (цветение) – 16 мая 2019 г. и 20 мая 2020 г.

Численность почвенных микроорганизмов основных эколого-трофических групп (аммонифицирующих и амилотических бактерий, азотфиксаторов, микромицетов, целлюлозолитиков, актиномицетов, олиготрофов и педотрофов) ризосферы пшеницы озимой, выраженное в колониеобразующих единицах (КОЕ) на г абсолютно сухой почвы, определяли по общепринятым методикам [9, 10] путем посева на селективные питательные среды. Был проведен расчет индексов олиготрофности, коэффициентов минерализации, олигонитрофильности и педотрофности [11–13].

Обработку полученных результатов проводили по методике, предложенной Доспеховым Б. А., с применением методов дисперсионного и корреляционного анализа, с использованием программ Excel и Statistica 10. Различия оценивали как статистически значимые при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Полученные данные по численности микроорганизмов основных эколого-трофических групп чернозема южного ризосферы *T. aestivum* позволили установить особенности формирования микробоценоза чернозема южного ризосферы пшеницы под влиянием исследуемых штаммов ассоциативных бактерий.

Аммонификаторы, наряду с другими микроорганизмами, обуславливают высвобождение доступного для растений аммонийного азота [14]. В условиях 2019 г. у сортов Ермак и Багира наибольшие показатели увеличения численности данной группы микроорганизмов наблюдали в случае инокуляции штаммом L1 – на 33 и 41 % соответственно по сравнению с вариантом без обработки (таблица 1). У сорта Лидия в варианте с применением штамма B5 наблюдали максимальное увеличение количества аммонификаторов – в 2,6 и 2,1 раза в условиях первого и второго годов исследований соответственно по сравнению с контролем. В 2020 г. у сортов Ермак и Лидия увеличение числа микроорганизмов, использующих в качестве питания преимущественно органические источники азота, обусловлено влиянием штамма R1 и составило 1,5 и 2,6 раза соответственно относительно варианта без инокуляции. У сорта Багира в 2020 г. обработка всеми штаммами, кроме L1 и R1, приводила к увеличению количества аммонификаторов от 1,5 до 2,2 раз относительно контроля.

Таблица 1 – Влияние штаммов с высоким ассоциативным потенциалом на численность микроорганизмов ризосферы пшеницы озимой, млн КОЕ/г почвы (полевой опыт, 2019–2020 гг.)*

Вариант	Аммонификаторы		Амилолитики		Олиготрофы		Педотрофы		
	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	
Ермак	P4	5,2 ± 0,3	2,3 ± 0,2	2,9 ± 0,4	3,4 ± 0,5	0,9 ± 0,1	1,1 ± 0,0	1,9 ± 0,4	4,1 ± 0,5
	M3	2,3 ± 0,2	3,7 ± 0,3	4,5 ± 0,1	5,5 ± 0,3	0,7 ± 0,1	2,3 ± 0,2	2,5 ± 0,1	6,9 ± 0,4
	B5	4,7 ± 0,1	2,3 ± 0,3	5,0 ± 0,3	4,0 ± 0,0	2,1 ± 0,3	2,7 ± 0,2	1,2 ± 0,0	6,8 ± 0,0
	R1	5,7 ± 0,1	5,4 ± 0,7	7,1 ± 0,2	5,0 ± 0,3	2,1 ± 0,1	1,5 ± 0,4	1,0 ± 0,1	7,5 ± 0,8
	L1	9,2 ± 0,2	2,9 ± 0,3	8,1 ± 0,3	6,5 ± 0,7	0,5 ± 0,1	2,1 ± 0,2	2,0 ± 0,3	8,3 ± 0,4
	C*	6,9 ± 0,5	3,7 ± 0,4	2,4 ± 0,1	3,7 ± 0,2	0,8 ± 0,1	2,5 ± 0,4	1,8 ± 0,3	3,4 ± 0,1
Багира	P4	5,7 ± 0,1	3,8 ± 0,4	6,4 ± 0,3	3,4 ± 0,1	0,4 ± 0,0	2,0 ± 0,2	2,1 ± 0,2	7,4 ± 0,6
	M3	4,0 ± 0,2	2,6 ± 0,4	3,8 ± 0,1	5,3 ± 0,7	0,5 ± 0,1	2,3 ± 0,5	1,6 ± 0,1	5,5 ± 0,4
	B5	4,4 ± 0,1	3,0 ± 0,6	10,9 ± 0,1	5,5 ± 0,1	0,6 ± 0,0	2,4 ± 0,2	1,3 ± 0,1	4,4 ± 0,2
	R1	4,0 ± 0,1	1,6 ± 0,3	6,8 ± 0,1	5,3 ± 0,6	1,5 ± 0,2	1,7 ± 0,3	1,4 ± 0,1	4,9 ± 0,3
	L1	10,6 ± 0,1	1,8 ± 0,1	4,6 ± 0,4	2,6 ± 0,3	0,4 ± 0,1	2,3 ± 0,3	2,9 ± 0,3	2,3 ± 0,0
	C*	7,5 ± 0,3	1,7 ± 0,3	4,0 ± 0,3	2,0 ± 0,1	0,7 ± 0,1	1,0 ± 0,1	2,6 ± 0,2	3,2 ± 0,5
Лидия	P4	7,1 ± 0,2	2,9 ± 0,4	8,9 ± 0,2	2,8 ± 0,5	2,4 ± 0,1	0,7 ± 0,2	2,3 ± 0,1	4,1 ± 0,3
	M3	5,8 ± 0,1	2,0 ± 0,2	4,1 ± 0,2	2,2 ± 0,2	0,5 ± 0,2	3,1 ± 0,4	5,9 ± 0,1	3,5 ± 0,6
	B5	9,4 ± 0,1	5,1 ± 0,5	8,6 ± 0,7	4,4 ± 0,2	0,5 ± 0,1	2,1 ± 0,2	8,3 ± 0,1	3,4 ± 0,3
	R1	2,7 ± 0,3	6,3 ± 1,2	3,6 ± 0,5	2,4 ± 0,4	1,6 ± 0,2	0,8 ± 0,2	2,3 ± 0,1	2,3 ± 0,3
	L1	4,4 ± 0,3	1,5 ± 0,2	3,4 ± 0,3	2,6 ± 0,2	0,9 ± 0,0	3,0 ± 0,1	1,6 ± 0,0	3,6 ± 0,2
	C*	3,6 ± 0,1	2,4 ± 0,5	6,7 ± 0,2	6,5 ± 0,2	0,5 ± 0,1	1,9 ± 0,1	6,0 ± 0,1	4,5 ± 0,5

Примечания: *С – контроль без обработки; данные достоверны относительно контроля при $p \leq 0,05$.

Численность амилолитиков показывает потенциальную способность микробного сообщества почвы иммобилизовать азот в микробной биомассе [15]. Влияние инокуляции на количество амилолитической группы микроорганизмов, трансформирующих преимущественно минеральные соединения азота, было более существенным у сортов Ермак и Багира. За два года у сорта Ермак увеличение численности данной группы наблюдали при инокуляции всеми штаммами, кроме P4 в условиях 2020 г., где произошло снижение на 9 % относительно контроля. В условиях 2019 г. максимальное их возрастание (в 3,4 раза в сравнении с контролем) количества произошло в результате инокуляции этого сорта штаммом L1. За 2019–2020 гг. у сорта Багира наибольшее увеличение амилолитиков (в 2,7 раза к контролю) наблюдали в результате действия штамма B5, выделенного из ризосферы данного сорта. Сорт Лидия оказался более избирательным к действию штаммов. В 2019 г. произошло увеличение количества амилолитиков на 34 % при инокуляции P4 и на 28 % – при инокуляции B5 по сравнению с контролем. В сложном по погодным условиям 2020 г. наблюдалась обратная реакция снижения численности амилолитической группы микроорганизмов у сорта Лидия – от 32 до 66 %. Это можно объяснить тем, что микробное сообщество является одним из наиболее чувствительных экологических индикаторов, которое первым реагирует на изменения окружающей среды и является маркером различных стадий почвообразования. При повышении температурного режима и снижении влагообеспеченности изменяются физические и химические показатели почвы. Также эти факторы влияют на активность ферментов и колебания биомассы микроорганизмов ризосферы путем изменения состава и количества корневой экссудации.

По численности олиготрофной части микробиоценоза наблюдали следующие тенденции. В условиях 2019 г. инокуляция штаммом R1 способствовала увеличению количества олиготрофов в ризосфере всех сортов: Ермака – в 2,6 раза (как и со

штаммом В5), Багиры – в 2,1 раза, Лидии – в 3,2 раза по сравнению с контролем. Также наблюдали значительную разницу по количеству данной группы микроорганизмов по годам исследований. В 2019 г., более благоприятном по погодным условиям, численность олиготрофов была меньше: например, в контрольном варианте в 2,8 раз (в среднем у трех сортов), чем в стрессовых, вызванных засухой условиях 2020 г. Это может быть связано с тем, что данная группа микроорганизмов приспособлена к эконишам с низким содержанием питательных элементов почвы и участвует в этапе завершения минерализации органического вещества.

В условиях 2020 г. обработка L1 (выделен из ризосферы сорта Лидия) и M3 привела к возрастанию численности данной группы у сортов Лидия и Багира в 1,6 и 2,3 раза соответственно по сравнению с контролем. У сорта Ермак при показателе в контроле 2,5 млн КОЕ/г почвы олиготрофов при инокуляции всеми штаммами (кроме В5) наблюдалось снижение на 8–56 % к контролю.

Численность педотрофов под влиянием штаммов преимущественно уменьшалась на трех сортах в условиях 2019 г. Увеличение её в 1,4 раза отмечено под влиянием штамма M3 на сорте Ермак и на 38 % под влиянием В5 у сорта Лидия. В следующем году инокуляция растений сорта Ермак привела к повышению численности педотрофных микроорганизмов под влиянием всех штаммов – от 1,2 до 2,5 раза по сравнению с контролем. У сорта Багира увеличение данной экологотрофической группы было при обработке штаммами Р4, M3, В5 и R1. Сорт Лидия оказался не отзывчивым на инокуляцию в условиях 2020 г.

Важным показателем состояния почв любого типа является присутствие азотфиксирующих бактерий [16]. Главной особенностью олигонитрофилов, фиксирующих атмосферный азот, является способность развиваться при очень низком содержании азота в субстрате. В условиях 2019 г. инокуляция штаммами L1 и В5 способствовала лучшему развитию азотфиксаторов ризосферы сорта Ермак – их общая численность в 1,4 и 1,3 раза превысила контроль. В варианте со штаммом M3 отмечено их снижение, как и в большинстве вариантов у сорта Багира, за исключением L1, где увеличение составило 1,2 раза (рисунок 1). В условиях 2020 г. у сорта Багира максимальное увеличение было в результате инокуляции штаммом Р4 и составило 3,3 раза по сравнению с вариантом без обработки. У сорта Лидия в результате инокуляции В5 и R1 число олигонитрофилов выросло на 44 и 40 % соответственно относительно контроля.

Для рода *Azotobacter* определяющим является способность к фиксации молекулярного азота атмосферы, синтез веществ гормональной и антибиотической природы, витаминов [17]. Этот азотфиксатор очень требователен к условиям среды, особенно влажности, поэтому в жестких условиях 2020 г. исследования наблюдали пониженное количество *Azotobacter* в ризосфере пшеницы. В условиях предыдущего года содержание этого микроорганизма под влиянием штаммов (кроме В5) превысило контроль на 6,7–16,0 % в ризосфере сортов Ермак и Багира. В результате инокуляции штаммом R1 у сорта Багира в условиях 2020 г. наблюдали увеличение численности азотобактера в два раза, но в условиях предыдущего года происходила обратная реакция (снижение на 67 % относительно контроля) на инокуляцию этим штаммом. У сорта Лидия увеличение численности азотобактера зафиксировано в результате инокуляции штаммом L1 (который был выделен из ризосферы данного сорта) на 8 и 33 % в условиях 2019 и 2020 гг. соответственно по сравнению с вариантом без инокуляции.

Определение численности актинобактерий, микромицетов и целлюлозолитиков позволяет учесть группу, которая активна не только в отношении

утилизации практически всего спектра природных и искусственных органических и минеральных соединений, но и способна к участию в образовании гумуса. В условиях 2020 г. выявлена тенденция снижения количества микроорганизмов всех трех групп по сравнению с предыдущим годом. Возможно, это связано с условиями засухи, оказывающей неблагоприятное воздействие на их рост и развитие. Также замечены различия по численности микроорганизмов у отдельных сортов при инокуляции некоторыми штаммами.

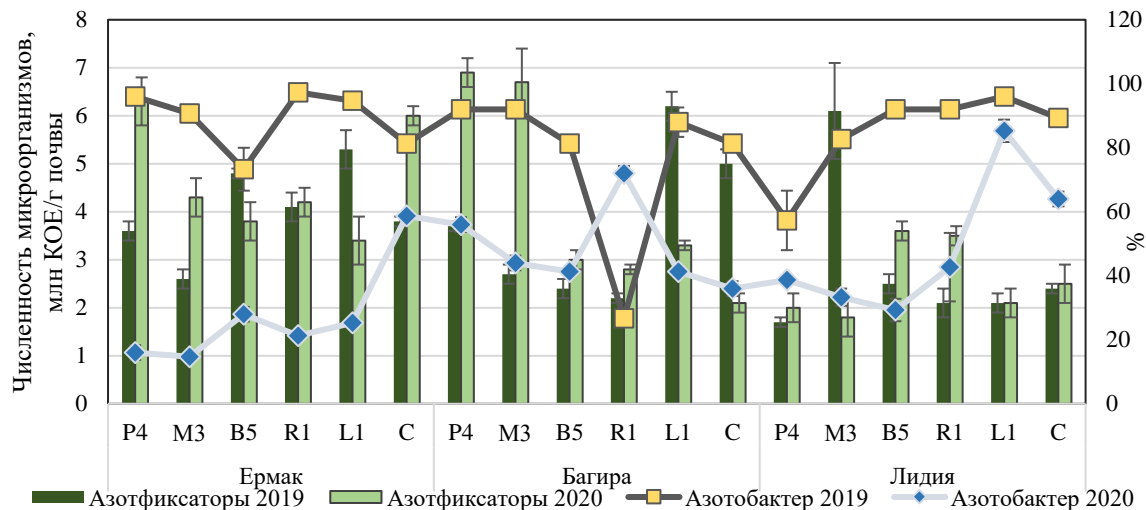


Рисунок 1 – Влияние штаммов с высоким ассоциативным потенциалом на численность азотфиксирующих микроорганизмов ризосферы пшеницы озимой (полевой опыт, 2019–2020 гг.)

Актинобактерии играют важную роль в рециркуляции веществ, так как способны метаболизировать сложные органические вещества, удалять ксенобиотические соединения, такие как пестициды, тяжелые металлы и др. [18]. В 2019 г. численность этой группы микроорганизмов увеличивалась в два раза под влиянием штаммов L1, R1 и B5 у сорта Ермак; у сорта Лидия под влиянием этих же штаммов увеличение составило от 1,7 до 2,7 раза относительно варианта без обработки. Снижение от 1,2 до 6,0 раз во всех вариантах у сорта Багира наблюдали в условиях первого года исследований (рисунок 2). В том же году численность микромицетов в ризосфере сортов Ермак и Багира увеличивалась в 1,2–3,4 раза под влиянием инокуляции, за исключением штаммов L1 у сорта Ермак и R1 у сорта Багира, находившихся на уровне контроля. Количество целлюлозолитических микроорганизмов в ризосфере пшеницы реагировало на инокуляцию штаммами в обратной зависимости от сорта. У сорта Ермак штаммы P4, B5 и R1 способствовали снижению данной группы в 1,5–2,0 раза, тогда как у сорта Багира – увеличению в 1,3–2,7 раза. В варианте со штаммом M3 отмечено увеличение численности целлюлозолитиков в 1,5 раза у сорта Ермак и такое же снижение наблюдали у сорта Багира. Эти показатели оставались на уровне контроля в варианте со штаммом L1. У сорта Лидия снижение целлюлозолитических микроорганизмов в ризосфере пшеницы отмечено во всех вариантах в условиях 2019 и 2020 гг. Численность микромицетов увеличивалась во всех вариантах в 1,4–2,0 раза, за исключением штамма B5, где произошло незначительное снижение.

Расчет коэффициентов и индексов, указывающих на направленность минерализационных процессов в почве, позволил установить, что инокуляция способствует их активизации в условиях двух лет (таблица 2).

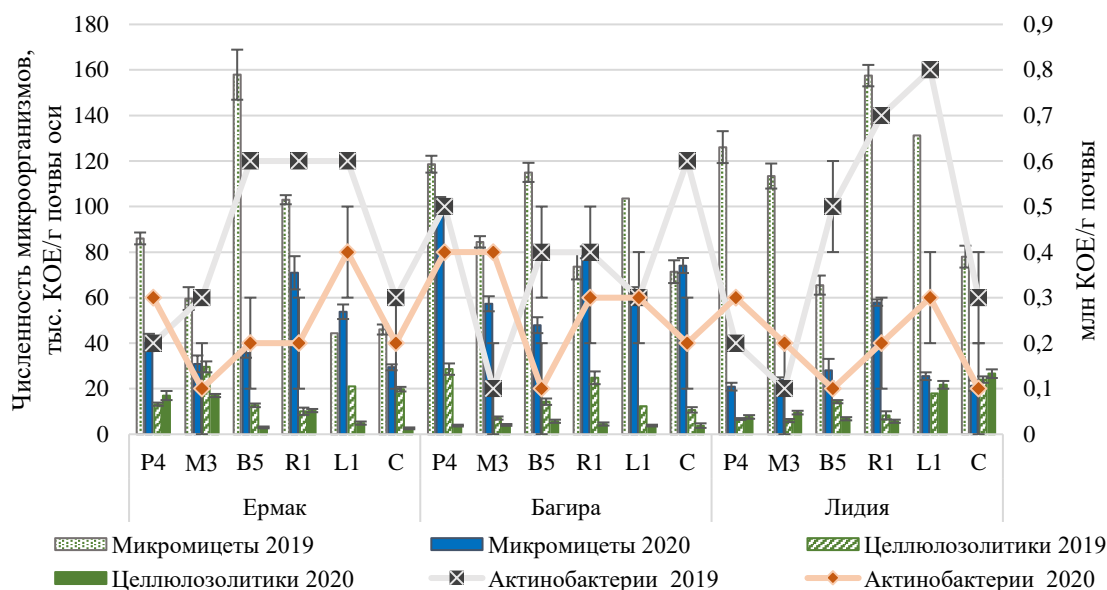


Рисунок 2 – Влияние штаммов с высоким ассоциативным потенциалом на численность микроорганизмов ризосферы пшеницы озимой (полевой опыт, 2019–2020 гг.)

В неблагоприятном по погодным условиям 2020 г. наблюдали повышение минерализационных процессов, что свидетельствует об увеличении иммобилизационных процессов в ризосфере пшеницы. У сорта Лидия инокуляция всеми ассоциативными штаммами снижала коэффициент минерализации до оптимальных значений.

Таблица 2 – Влияние штаммов с высоким ассоциативным потенциалом на направленность минерализационных процессов в ризосфере пшеницы озимой (полевой опыт, 2019–2020 гг.)

Вариант	Коэффициент								
	минерализации		олиготрофности		олигонитрофильности		педотрофности		
	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	
Ермак	P4	0,6	1,4	0,2	0,5	0,7	2,7	0,4	1,7
	M3	1,9	1,5	0,3	0,6	1,1	1,2	1,1	1,9
	B5	1,1	1,8	0,5	1,2	1,0	1,7	0,3	3,0
	R1	1,3	0,9	0,4	0,3	0,7	0,8	0,2	1,4
	L1	0,9	2,2	0,1	0,7	0,6	1,2	0,2	2,8
	C*	0,4	1,0	0,1	0,7	0,6	1,6	0,3	0,9
Багира	P4	1,1	0,9	0,1	0,5	0,6	1,8	0,4	1,9
	M3	1,0	2,1	0,1	0,9	0,7	2,6	0,4	2,1
	B5	2,5	1,9	0,1	0,8	0,5	1,0	0,3	3,1
	R1	1,7	3,3	0,4	1,1	0,6	1,8	0,4	1,3
	L1	0,4	1,4	0,3	1,3	0,6	1,8	0,3	0,8
	C*	0,5	1,18	0,9	0,6	0,7	1,3	0,3	1,4
Лидия	P4	1,3	1,0	3,4	0,2	0,2	0,7	0,3	1,8
	M3	0,7	1,1	0,9	1,6	1,1	0,9	1,0	0,7
	B5	0,9	0,9	0,5	0,4	0,3	0,7	0,9	0,4
	R1	1,3	0,4	6,0	0,1	0,8	0,6	0,9	2,4
	L1	0,8	1,7	2,1	2,0	0,5	1,4	0,4	2,9
	C*	1,9	2,7	1,5	2,0	0,7	1,0	1,7	1,9

Примечание. *C – контроль без обработки.

Увеличение урожайности и ее компонентов за счет взаимодействия с интродуцируемыми в ризосферу микроорганизмами можно объяснить повышением азотфиксации, солубилизацией фосфатов, мобилизацией калия и продукцией стимулирующих рост растений веществ, активизирующих микробиологические процессы в почве, что способствует доступности питательных веществ растениям [19]. Из таблицы 3 следует, что в условиях более благоприятного 2019 г. происходила достоверная прибавка урожайности в варианте применения L1: на 0,63 т/га (13 %) – у сорта Ермак, на 0,4 т/га (8 %) – Багира и на 0,21 т/га (4 %) – Лидия ($p \leq 0,05$). На урожайность в среднем за два года у сортов Ермак и Лидия штаммы практически не оказали влияния, но и снизили ее в некоторых случаях. Сорт Багира является пластичным по своей характеристике и, возможно поэтому, оказался восприимчивым к инокуляции ассоциативными штаммами. Максимальное увеличение урожайности в среднем за два года у сорта Багира было в результате обработки штаммом B5 и составило 0,4 т/га (10 %) ($p \leq 0,05$).

Таблица 3 – Влияние штаммов с высоким ассоциативным потенциалом на урожайность пшеницы озимой (полевой опыт, 2019–2020 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га по вариантам инокуляции штаммами			Средняя прибавка урожайности		
	2019 г.	2020 г.	Среднее	т/га	%	
Ермак	P4	5,45	2,98	4,2	-	-
	M3	5,43	3,08	4,3	0,1	2,4
	B5	5,15	2,88	4,0	-	-
	R1	5,24	2,64	4,0	-	-
	L1	5,53	3,15	4,3	0,1	2,4
	C*	4,90	3,51	4,2	-	-
Багира	P4	4,91	3,12	4,0	-	-
	M3	5,09	3,47	4,3	0,3	7,5
	B5	5,17	3,65	4,4	0,4	10,0
	R1	5,11	3,19	4,2	0,2	5,0
	L1	5,41	2,92	4,2	0,2	5,0
	C*	5,01	3,00	4,0	-	-
Лидия	P4	5,12	3,52	4,3	0,1	2,4
	M3	5,11	3,25	4,2	-	-
	B5	5,14	3,25	4,2	-	-
	R1	5,17	3,32	4,2	-	-
	L1	5,29	3,50	4,4	0,2	4,8
	C*	5,08	3,42	4,2	-	-
НСР _{0,05}	A – 0,06; B – 0,11; AB – 0,15	A – 0,24; B – 0,37; AB – 0,65				

Примечание. *C – контроль без обработки.

Согласно корреляционному анализу в среднем по сортам и годам исследования на урожайность наибольшее влияние ($r = 0,81$, $p \leq 0,05$) оказывает численность бактерий рода *Azotobacter* (рисунок 3), который является показателем плодородия почвы и увеличивает урожайность растений за счет биосинтеза биологически активных веществ, производства фитопатогенных ингибиторов, изменения поглощения питательных веществ и увеличения биологической азотфиксации [20, 21].

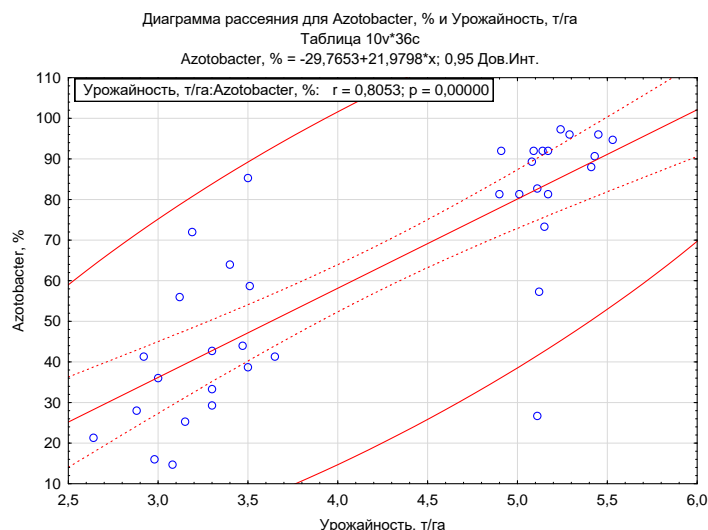


Рисунок 3 – Диаграмма рассеяния для численности *Azotobacter* и урожайности пшеницы озимой трех сортов (полевой опыт, 2019–2020 гг.)

Выводы

Таким образом, предпосевная обработка семян штаммами микроорганизмов с высоким ассоциативным потенциалом к пшенице озимой может стать эффективным биологическим приемом для экологически ориентированного земледелия и оптимизации питания растений.

Показано, что под влиянием ассоциативных к *T. aestivum* штаммов бактерий происходят изменения численности микроорганизмов различных эколого-трофических групп чернозема южного.

Установлено, что инокуляция микробными биоагентами способствует активизации минерализационных процессов в ризосфере пшеницы озимой. В условиях 2020 г. иммобилизационные процессы протекали интенсивнее, так как показатели коэффициента минерализации в большинстве вариантов были больше единицы. Также об этом свидетельствуют показатели численности некоторых групп микроорганизмов, которые участвуют в синтезе гумуса.

Выявлен наиболее отзывчивый на бактеризацию семян ассоциативными штаммами сорт Багира: увеличение по сравнению с контролем урожайности в среднем за два года исследований находилось в пределах 0,2–0,4 т/га или 5–10 %.

Работа выполнена в рамках государственного задания фундаментальных исследований № 0834-2019-0005 и при поддержке гранта РФФИ А18-016-00197.

Литература

1. Турусов В. И., Сауткина М. Ю., Чевердин А. Ю. Применение ассоциативных бактериальных удобрений в посевах зерновых культур // Материалы I Международной научно-практической интернет-конференции «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования». Каменная Степь: ГБНУ Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы им. В. В. Докучаева, 2016. С. 1445–1448.
2. Пиголева С. В., Захарченко Н. С., Фурс О. В., Тарлачков С. В., Фунтикова Т. В., Филонов А. Е., Ариповский А. В., Дьяченко О. В., Бурьянов Я. И., Шевчук Т. В. Влияние ассоциативных микроорганизмов на рост и устойчивость растений к ксенобиотикам и фитопатогенам // Прикладная биохимия и микробиология. 2020. Т. 56. № 4. С. 390-400. DOI: 10.31857/S0555109920040133.
3. Qi G., Pan Z., Andriamanohiarisoamanana F. J., Yamashiro T., Iwasaki M., Kawamoto K., Umetsu K. Isolation and characterization of plant growth promoting bacteria (PGPB) from anaerobic digestate and their effect on common wheat (*Triticum aestivum*) seedling growth // Int J Environ Agric Res. 2017. Vol. 3. No. 11. P. 46–52. DOI: 10.25125/agriculture-journal-IJOEAR-NOV-2017-11.

4. Шапошников А. И., Белимов А. А., Кравченко Л. В., Виванко Д. М. Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями: механизмы образования и факторы эффективности ассоциативных симбиозов // Сельскохозяйственная биология. 2011. Т. 3. С. 16–22.
5. Shcherbakova E. N., Shcherbakov A. V., Andronov E. E., Gonchar L. N., Kalenskaya S. M., Chebotar V. K. Combined pre-seed treatment with microbial inoculants and Mo nanoparticles changes composition of root exudates and rhizosphere microbiome structure of chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants // Symbiosis. 2017. Vol. 73. No. 1. P. 57–69. DOI: 10.1007/s13199-016-0472-1.
6. Chandra D., Srivastava R., Gupta V. V., Franco C. M., Sharma A. K. Evaluation of ACC-deaminase-producing rhizobacteria to alleviate water-stress impacts in wheat (*Triticum aestivum* L.) plants // Canadian journal of microbiology. 2019. Vol. 65. No. 5. P. 387–403. DOI: 10.1139/cjm-2018-0636.
7. Ahemad M., Kibret M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective // Journal of King saud University-science. 2014. Vol. 26. No. 1. P. 1–20. DOI: 10.1016/j.jksus.2013.05.001.
8. Шерстобоев Н. К., Мельничук Т. Н. Методологический подход к изучению ассоциативных микроорганизмов // Вестник Одесского национального университета. 2005. Т. 10. № 7. С. 311–315.
9. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. М.: Дрофа, 2005. 254 с.
10. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: монографія // За ред. Волкогона В. В. Київ: Аграрна наука, 2010. 464 с.
11. Андріюк К. І., Іутинська Г. О., Антипчук А.Ф., Валагурова О. В., Козирицька В. Є. Функціонування мікробних угруповань ґрунту в умовах антропогенного навантаження. К.: Обереги, 2001. 239 с.
12. Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества. Нижний Новгород: Нижегородская сельскохозяйственная академия, 2012. 64 с.
13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Пятое издание, переработанное и дополненное. М.: Альянс, 2014. 351 с.
14. Hui C., Sun P., Guo X., Jiang H., Zhao Y., Xu L. Shifts in microbial community structure and soil nitrogen mineralization following short-term soil amendment with the ammonifier *Bacillus amyloliquefaciens* DT // International Biodeterioration & Biodegradation. 2018. Vol. 132. P. 40–48. DOI: 10.1016/j.ibiod.2018.05.008.
15. Круглов Ю. В. Микробное сообщество почвы: физиологическое разнообразие и методы исследования // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 1. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.1.46rus.
16. Гонтарев С. А., Смирнов С. В. Биотехнология культивирования азотфиксирующих почвенных микроорганизмов. Барнаул, 2020. 48 с.
17. Кириченко Е., Титова Л., Коць С. Эффективность бактериализации семян пшеницы яровой новым штаммом *Azotobacter chroococcum* T79 // Stiinta agricola. 2017. № 1. С. 21–24.
18. Alvarez A., Saez J. M., Costa J. S. D., Colin V. L., Fuentes M. S., Cuzzo S. A., Amoroso M. J. Actinobacteria: current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals // Chemosphere. 2017. Vol. 166. P. 41–62. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.09.070.
19. Game B. C., Ilhe B. M., Pawar V. S., Khandagale P. P. Effect of Azotobacter, phosphate solubilising bacteria and potash mobilising bacteria inoculants on productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.) // Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 2020. Vol. 9. No. 3. P. 2800–2807. DOI: 10.20546/ijemas.2020.903.322.
20. Налбандян А. А., Безлер Н. В., Черепухина И. В. ПЦР-идентификация гена азотфиксации nifH у *Azotobacter* sp. // Сахар. 2019. № 9. С. 7–9.
21. Sumbul A., Ansari R. A., Rizvi R., Mahmood I. *Azotobacter*: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management // Saudi Journal of Biological Sciences. 2020. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.08.004.

References

1. Turusov V. I., Sautkina M. Yu., Chevardin A. Yu. Application of associative bacterial fertilizers in grain crops // Materials of the I International Scientific and Practical Internet Conference “Modern ecological state of the natural environment and scientific and practical aspects of rational nature management”. Kamennaya Step: Research Institute of Agriculture of the Central Black Earth Belt named after V.V. Dokuchaev, 2016. P. 1445–1448.
2. Pigoleva S. V., Zakharchenko N. S., Furs O. V., Tarlachkov S. V., Funtikova T. V., Filonov A. E., Aripovsky A. V., Dyachenko O. V., Buryanov Ya. I., Shevchuk T. V. Effect of associative microorganisms on plant growth and resistance to xenobiotics and phytopathogens // Applied Biochemistry and Microbiology. 2020. Vol. 56. No. 4. P. 390-400. DOI: 10.31857/S0555109920040133.
3. Qi G., Pan Z., Andriamanohiarisoamanana F. J., Yamashiro T., Iwasaki M., Kawamoto K., Umetsu K. Isolation and characterization of plant growth promoting bacteria (PGPB) from anaerobic digestate and their effect on common wheat (*Triticum aestivum*) seedling growth // Int J Environ Agric Res. 2017. Vol. 3. No. 11. P. 46–52. DOI: 10.25125/agriculture-journal-IJOEAR-NOV-2017-11

4. Shaposhnikov A. I., Belimov A. A., Kravchenko L. V., Vivanko D. M. Interaction of rhizosphere bacteria with plants: mechanisms of formation and factors of efficiency in associative symbiosis (review) // *Agricultural Biology (Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya)*. 2011. Vol. 3. P. 16–22.
5. Shcherbakova E. N., Shcherbakov A. V., Andronov E. E., Gonchar L. N., Kalenskaya S. M., Chebotar V. K. Combined pre-seed treatment with microbial inoculants and Mo nanoparticles changes composition of root exudates and rhizosphere microbiome structure of chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants // *Symbiosis*. 2017. Vol. 73. No. 1. P. 57–69. DOI: 10.1007/s13199-016-0472-1.
6. Chandra D., Srivastava R., Gupta V. V., Franco C. M., Sharma A. K. Evaluation of ACC-deaminase-producing rhizobacteria to alleviate water-stress impacts in wheat (*Triticum aestivum* L.) plants // *Canadian Journal of Microbiology*. 2019. Vol. 65. No. 5. P. 387–403. DOI: 10.1139/cjm-2018-0636.
7. Ahemad M., Kibret M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective // *Journal of King Saud University-Science*. 2014. Vol. 26. No. 1. P. 1–20. DOI: 10.1016/j.jksus.2013.05.001.
8. Sherstoboev N. K., Melnichuk T. N. Methodological approach to the study of associative microorganisms // *Bulletin of the Odessa National University*. 2005. Vol. 10. No. 7. P. 311–315.
9. Tepper E. Z., Shilnikova V. K., Pereverzeva G. I. Workshop on Microbiology. Moscow: Drofa, 2005. 254 p.
10. Experimental soil microbiology: monograph // Ed. by Volkogon V. V. Kiev: Agrarna nauka, 2010. 446 p.
11. Andriyuk K. I., Iutinska G. O., Antypchuk A. F., Valagurova O. V., Kozyrytska V. E. Functioning of microbial soil groups under anthropogenic loading conditions. Kiev: Oberegy, 2001. 239 p.
12. Titova V. I., Kozlov A. V. Methods for assessing the functioning of the soil microbiocenosis involved in the transformation of organic matter. Nizhny Novgorod: Agrarian Academy of Nizhny Novgorod, 2012. 64 p.
13. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). 5th edition, appr. and add. Moscow: Alians, 2014. 351 p.
14. Hui C., Sun P., Guo X., Jiang H., Zhao Y., Xu L. Shifts in microbial community structure and soil nitrogen mineralization following short-term soil amendment with the ammonifier *Bacillus amyloliquefaciens* DT // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2018. Vol. 132. P. 40–48. DOI: 10.1016/j.ibiod.2018.05.008.
15. Kruglov Yu. V. Microbial community of soil: physiological diversity patterns and assessment (review) // *Agricultural Biology (Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya)*. 2016. Vol. 51. No. 1. DOI: 10.15389/agrobiol.2016.1.46rus.
16. Gontarev S. A., Smirnov S. V. Biotechnology of cultivation of nitrogen-fixing soil microorganisms. Barnaul, 2020. 48 p.
17. Kirichenko E., Titova L., Kots S. Efficiency of bacterization of spring wheat seeds with a new strain of *Azotobacter chroococcum* T79 // *Stiinta agricola*. 2017. No. 1. P. 21–24.
18. Alvarez A., Saez J. M., Costa J. S. D., Colin V. L., Fuentes M. S., Cuzzo S. A., Amoroso M. J. Actinobacteria: current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals // *Chemosphere*. 2017. Vol. 166. P. 41–62. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.09.070.
19. Game B. C., Ilhe B. M., Pawar V. S., Khandagale P. P. Effect of *Azotobacter*, phosphate solubilising bacteria and potash mobilising bacteria inoculants on productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2020. Vol. 9. No. 3. P. 2800–2807. DOI: 10.20546/ijemas.2020.903.322.
20. Nalbandian A. A., Bezler N. V., Cherepukhina I. V. PCR identification of the nifH nitrogen fixation gene in *Azotobacter* sp. // *Sakhar*. 2019. No. 9. P. 7–9.
21. Sumbul A., Ansari R. A., Rizvi R., Mahmood I. *Azotobacter*: a potential bio-fertilizer for soil and plant health management // *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2020. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.08.004.

UDC 631.461: 579.64

Egovtseva A. Yu., Melnichuk T. N., Abdurashitov S. F., Andronov E. E., Abdurashitova E. R., Radchenko A. F., Ganotskaya T. L., Radchenko L. A.

INFLUENCE OF STRAINS ASSOCIATED WITH *TRITICUM AESTIVUM* L. ON MICROBIOCENOSIS IN THE RHIZOSPHERE OF WINTER WHEAT OF CHERNOZEM SOUTHERN

Summary. Pre-sowing inoculation with strains of associative bacteria is one of the promising methods for increasing the productivity of agricultural crops. These microorganisms are able to stimulate the growth processes of plants, improve their mineral nutrition, increase phytoimmunity and resistance to adverse factors. The aim of the research is to study the

*influence of strains with a high associative potential to *Triticum aestivum* L. on the microbiocenosis in the rhizosphere of soft wheat of several varieties grown on chernozem southern. The studies were carried out in 2018–2020 using three varieties – ‘Ermak’, ‘Bagheera’, ‘Lydia’. The experiments were laid on plots (accounting area – 25 m²) in systematic design, replicated four times. The climate of the study area is characterized as arid (steppe). Inoculation was carried out before wheat seeds sowing; option without treatment served as a control. Sampling was carried out in the most active phase – flowering (in May 2019 and 2020). In the course of the research, we found that changes in the number of microorganisms of various ecological-trophic groups of chernozem southern in the rhizosphere of wheat occur under the influence of bacterial strains associative to *T. aestivum*. Wheat variety ‘Bagheera’ was found to be the most responsive to seed bacterization; the average yield increase over two years of research was in the range of 0.2-0.4 t/ha or 5-10%. Calculation of coefficients and indices indicating the direction of mineralization processes in the soil made it possible to establish that inoculation promotes their activation. The results of the correlation analysis based on two-year data obtained after studying three varieties of winter wheat showed that the number of bacteria of the genus *Azotobacter* has the greatest influence on the yield – the correlation index is 0.81 at $p < 0.05$.*

Keywords: *microbiocenosis, associative strains, rhizosphere, *Triticum aestivum* L., chernozem southern.*

Еговцева Анна Юрьевна, научный сотрудник лаборатории молекулярной и клеточной биологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: eau82@mail.ru.

Мельничук Татьяна Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории молекулярной и клеточной биологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: melnichuk7@mail.ru.

Абдурашитов Сулейман Февзиевич, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией молекулярной генетики, протеомики и биоинформатики в сельском хозяйстве, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: asuleyman83@rambler.ru.

Андронов Евгений Евгеньевич, доктор биологических наук, заведующий лабораторией микробиологического мониторинга и биоремедиации почв, ФГБНУ «Всероссийский научноисследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии»; 196608, Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, шоссе Подбельского, 3; e-mail: eeandr@gmail.ru.

Абдурашитова Эльвина Расимовна, научный сотрудник лаборатории молекулярной и клеточной биологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: elvi-jadore@mail.ru.

Радченко Александр Федорович, старший научный сотрудник лаборатории семеноводства и сортоизучения новых генотипов отдела интродукции и технологий в полеводстве и животноводстве, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: o-radchenko@ukr.net.

Ганоцкая Татьяна Леонидовна, младший научный сотрудник лаборатории семеноводства и сортоизучения новых генотипов отдела интродукции и технологий в полеводстве и животноводстве, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ganotskaya.tanya@mail.ru.

Радченко Людмила Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: l-radchenko@ukr.net.

Egovtseva Anna Yurievna, researcher of the Laboratory of molecular and cellular biology of FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: eau82@mail.ru.

Melnichuk Tatyana Nikolaevna, Dr. Sc. (Agr.), senior researcher, chief researcher of the Laboratory of molecular and cellular biology of FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: melnichuk7@mail.ru.

Abdurashitov Suleiman Fevziyevich, Cand. Sc. (Biol.), head of the Laboratory of molecular genetics, proteomics and bioinformatics in agriculture of FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: asuleyman83@rambler.ru.

Andronov Evgeniy Evgenievich, Dr. Sc. (Biol.), head of the Laboratory of microbiological monitoring and soil bioremediation of FSBSI “All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology”; 3, Podbelskogo Highway, Pushkin, Saint-Petersburg, 196608, Russia; e-mail: eeandr@gmail.ru.

Abdurashitova Elvina Rasimovna, researcher of the Laboratory of molecular and cellular biology of FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: elvi-jadore@mail.ru.

Radchenko Aleksandr Fedorovich, senior researcher of the Laboratory of seed growing and strain investigation of new genotypes of the Department of introductions and technologies in agriculture and livestock farming, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: o-radchenko@ukr.net.

Ganotskaya Tatyana Leonidovna, junior researcher of the Laboratory of seed growing and strain investigation of new genotypes of the Department of introductions and technologies in agriculture and livestock farming, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: ganotskaya.tanya@mail.ru.

Radchenko Ludmila Anatolievna, Cand. Sc. (Agr.), deputy director for scientific work, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: l-radchenko@ukr.net.

Дата поступления в редакцию – 10.09.2020.

Дата принятия к печати – 12.11.2020.