

DOI 10.33952/2542-0720-2019-4-20-123-132

УДК 579.2: 581.1: 632.122: 633.11

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

**ВЛИЯНИЕ МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА АДАПТИВНЫЙ
ПОТЕНЦИАЛ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ
МЕТАЛЛОВ**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. В статье приведены результаты влияния микробных препаратов на компоненты неферментативной антиоксидантной системы защиты озимой пшеницы *Triticum aestivum* L. при загрязнении почвы тяжелыми металлами (ТМ) (чернозем южный тяжелосуглинистый). Цель исследований – изучение влияния КМП (комплекс микробных препаратов) на формирование адаптивного потенциала (неферментативной антиоксидантной системы защиты) озимой пшеницы при загрязнении почвы ТМ (Pb, Cu, Cr) в условиях модельных микрополевых опытов. Полевые исследования проводили в 2016–2018 гг. в Республике Крым. Для предпосевной инокуляции семян использовали КМП, включающий «Диазофит», препарат на основе *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3 и «Биополицид», в соотношении 1:1:1. Определены физиолого-биохимические параметры растений: содержание в листьях фотосинтезирующих пигментов (сумма хлорофиллов a + b) и функционирование антиоксидантных неферментативных систем (аскорбиновая кислота и глутатион) как показателя их адаптивности к ТМ. Установлено, что загрязнение почвы ТМ приводило к увеличению содержания аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях озимой пшеницы и снижению содержания фотосинтетических пигментов. Показано, что бактеризация способствует снижению содержания аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях пшеницы в условиях микрополевых опытов на 8–20 % и 5–25 % против контроля соответственно. Выявлено, что содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях бактеризованных растений повышается как в вариантах фона (без внесения ТМ), так и при загрязнении почвы ТМ, сумма хлорофиллов (a + b) в листьях в фазе весеннего кущения пшеницы возрастала на 8–15 % против контроля. Установлено положительное влияние бактеризации на зерновую продуктивность озимой пшеницы: она возрастала на 40–56 % (0,08–0,09 кг/м²) против контроля.

Ключевые слова: микробные препараты, озимая пшеница, тяжелые металлы, аскорбиновая кислота, глутатион, зерновая продуктивность.

Введение

В природных условиях растения подвергаются воздействию различных неблагоприятных факторов. Формирование защитных эффектов адаптации обеспечивается не только активацией генетического аппарата, но также изменением метаболизма клеток и функционирования основных систем организма. Одним из универсальных звеньев стрессового ответа растений является окислительный стресс. При этом в клетках увеличивается образование активных форм кислорода, что может привести к гибели организма. Развитие окислительного стресса отмечено при воздействии на растения вирусной и бактериальной инфекции, засухи, засоления, тяжелых металлов (ТМ) и др. Растения обладают различными эффективными системами защиты от окислительного стресса: синтезируют ферменты и антиоксиданты неферментативной природы (аскорбиновая кислота, глутатион и др.), устраняющие токсичные кислородные радикалы. В литературных

источниках отмечено повышение содержания в растениях окислительных ферментов [1], а также глутатиона и аскорбиновой кислоты [2–5] при воздействии ТМ.

Известно, что ТМ – одни из наиболее распространенных загрязнителей окружающей среды. Включаясь в трофические цепи, они изменяют интенсивность метаболических процессов растений, что снижает их продуктивность и качество урожая. Так, выявлена позитивная корреляция между интенсивностью фотосинтеза и зерновой продуктивностью сельскохозяйственных растений [6, 7]. В загрязненных ТМ почвах нарушается интенсивность микробиологических процессов, снижается количество полезных микроорганизмов, что также негативно влияет на культурные растения [8, 9]. В экспериментальных исследованиях доказано, что микроорганизмы являются посредниками между почвенными условиями и растениями и могут значительно повысить устойчивость макросимбионта к стрессу [10]. За последние годы созданы эффективные микробные препараты, которые успешно применяют в технологиях выращивания культурных растений [11–13]. Использование препаратов на основе полезных штаммов микроорганизмов – это важный аспект биологизации современного земледелия [14–16], способствующий улучшению качества растительной продукции, снижению пестицидной нагрузки и стабилизирующий функционирование агроэкосистем. Именно поэтому поиск приемов, повышающих устойчивость растений к негативному воздействию ТМ, не теряет актуальности. Особое место среди биопрепаратов занимают комплексные полифункциональные микробные препараты, созданные на основе ассоциаций микроорганизмов. В России и Украине разработаны технологические аспекты производства и применения комплексных микробных препаратов (КМП) на основе симбиотических, ассоциативных азотфиксирующих и фосфатмобилизующих бактерий [17, 18]. Применение этих препаратов позволяет эффективно защитить растения от различных стрессов, стимулировать их урожайность и качество продукции, а также сохранить плодородие почвы.

Цель исследований – изучение влияния КМП на формирование адаптивного потенциала (неферментативной антиоксидантной системы защиты) озимой пшеницы при загрязнении почвы ТМ (Pb, Cu, Cr) в условиях модельных микрополевых опытов.

Материалы и методы исследований

Полевые исследования проводили на опытном участке отдела сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» в 2016–2018 гг. Почва участка – чернозем южный малогумусный карбонатный тяжелосуглинистый. Агрохимическая характеристика почвы: содержание гумуса – 2,5 %; подвижных форм азота и фосфора – 5,3 и 2,6 мг/100 г почвы соответственно; pH водной вытяжки – 7,0–7,2. Общая площадь делянки составляла 5 м², учетной – 2 м², их размещение рендомизированное; повторность опытов – четырехкратная. Ранней весной в почву вносили водные растворы солей ТМ: Pb(CH₃COO)₂, CuSO₄, K₂CrO₄ в соответствии с различными уровнями ПДК загрязнения: 5; 10 и 20 ПДК. В контрольных вариантах растворы ТМ в почву не вносили. Схема полевых экспериментов: 1 – контроль (без инокуляции), 2 – КМП, 3 – ТМ (5 ПДК), 4 – ТМ (5 ПДК) + КМП, 5 – ТМ (10 ПДК), 6 – ТМ (10 ПДК) + КМП, 7 – ТМ (20 ПДК), 8 – ТМ (20 ПДК) + КМП.

Для предпосевной инокуляции семян озимой пшеницы *Triticum aestivum* L. использовали комплекс микробных препаратов (КМП): «Диазофит» (основа – *Rhizobium radiobacter* 204, обладающий способностью к азотфиксации и продуцирующий ростстимулирующие вещества); препарат на основе *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3, обладающий способностью к трансформации

труднорастворимых соединений фосфора, продуцент фитогормонов [19], «Биополицид» (основа – *Paenibacillus polymyxa* П, синтезирует хитиназу и антифунгальные компоненты) в соотношении 1:1:1. В контроле семена увлажняли водой.

Отбор растений для анализов в лабораторных опытах проводили в следующие фазы развития озимой пшеницы: весеннее кущение и выход в трубку. Определяли биохимические параметры растений, отвечающие за функционирование неферментативной антиоксидантной системы защиты (аскорбиновая кислота и глутатион), а также количественное содержание фотосинтезирующих пигментов. Определение массовой доли аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях озимой пшеницы осуществляли по методике Петга в модификации Прокошева [20]. Экстракцию фотосинтезирующих пигментов проводили 96 % этанолом, а их количественное содержание (сумма хлорофиллов *a + b*) определяли колориметрическим методом [21]. Полевые эксперименты, а также статистическую обработку полученных результатов проводили согласно общепринятым методам [22] и с использованием программы Statistica 7.0.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований, полученные в условиях микрополевых опытов, показали, что содержание аскорбиновой кислоты в листьях пшеницы бактеризованных и контрольных растений на делянках без внесения ТМ составляло в фазы весеннего кущения и трубкования 0,16 и 0,18 мг/% соответственно (таблица 1). Выявлено, что загрязнение почвы ТМ приводит к возрастанию содержания аскорбиновой кислоты в листьях пшеницы. Так, в фазу весеннего кущения оно варьировало незначительно: в пределах 0,17–0,20 мг/% (контроль – 0,16 мг/%). В фазе трубкования содержание аскорбиновой кислоты в листьях неинокулированных растений озимой пшеницы на загрязненных ТМ делянках составляло 0,19–0,25 мг/% (0,18 мг/% в контроле).

Таблица 1 – Содержание аскорбиновой кислоты в листьях озимой пшеницы, мг/% (среднее за 2016–2018 гг.)

Вариант	Фаза развития растений	
	весеннее кущение	выход в трубку
Контроль (без ТМ)		
Без инокуляции	0,16	0,18
КМП	0,16	0,18
НСР ₀₅	0,03	0,02
ТМ (5 ПДК)		
Без инокуляции	0,17	0,19
КМП	0,16	0,17
НСР ₀₅	0,02	0,01
ТМ (10 ПДК)		
Без инокуляции	0,17	0,25
КМП	0,16	0,20
НСР ₀₅	0,01	0,02
ТМ (20 ПДК)		
Без инокуляции	0,20	0,25
КМП	0,16	0,23
НСР ₀₅	0,02	0,01

Установлено положительное воздействие предпосевной инокуляции семян КМП на содержание аскорбиновой кислоты в листьях бактеризованных растений: оно снижалось на 8–20 % по сравнению с растениями, выращенными из

неинокулированных семян (в зависимости от уровня загрязнения почвы). Так, уже в фазе весеннего кущения выявлена тенденция к снижению количества аскорбиновой кислоты в листьях бактеризованных растений пшеницы при загрязнении почвы на уровне 5 и 10 ПДК ТМ (см. таблицу 1). Достоверное уменьшение содержания аскорбиновой кислоты в листьях бактеризованных растений пшеницы (на 20 %) отмечено только при высоком уровне загрязнения почвы ТМ (20 ПДК). Однако наиболее четкое и достоверное влияние предпосевной инокуляции семян отмечено в фазе выхода в трубку: содержание аскорбиновой кислоты в листьях бактеризованных растений снижалось на 10 % (5 ПДК ТМ), 20 % (10 ПДК ТМ) и 8 % (20 ПДК ТМ) по сравнению с неинокулированными. На наш взгляд, это свидетельствует об уменьшении окислительного стресса, возникающего вследствие загрязнения почвы ТМ.

Известно, что глутатион – активный антиоксидант и один из наиболее четких показателей, характеризующий стрессовое воздействие ТМ на растения. Результаты наших исследований показали, что в фазе весеннего кущения содержание глутатиона в листьях озимой пшеницы в контроле (делянки без внесения ТМ), было практически одинаковым для растений, выращенных из неинокулированных и бактеризованных семян, и составляло 27,7 и 28,9 мг/г соответственно (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание глутатиона в листьях озимой пшеницы, мг/г (среднее за 2016–2018 гг.)

Вариант	Фаза развития растений	
	весеннее кущение	выход в трубку
Контроль (без ТМ)		
Без инокуляции	27,7	59,8
КМП	28,9	59,4
НСР ₀₅	2,8	3,0
ТМ (5 ПДК)		
Без инокуляции	32,7	71,1
КМП	32,5	67,9
НСР ₀₅	1,5	3,0
ТМ (10 ПДК)		
Без инокуляции	43,2	74,9
КМП	31,9	71,0
НСР ₀₅	2,1	2,3
ТМ (20 ПДК)		
Без инокуляции	64,8	80,4
КМП	54,7	72,1
НСР ₀₅	3,3	2,4

Выявлено, что внесение в почву ТМ приводит к увеличению массовой доли глутатиона в листьях озимой пшеницы во всех изучаемых вариантах загрязнения. Так, загрязнение почвы на уровне 5; 10 и 20 ПДК ТМ привело к возрастанию его количества в листьях пшеницы до 32,7; 43,2 и 64,8 мг/г, что превышало контроль на 14 %, 56 % и в 2,3 раза соответственно. Подобная тенденция отмечена и в фазе выхода в трубку: содержание глутатиона в листьях пшеницы, выращенной на загрязненной почве, превышало контроль на 19–33 % и достигало максимальных значений: 71,1; 74,9; 80,4 мг/г на уровне 5, 10 и 20 ПДК ТМ соответственно против 59,8 мг/г в контроле.

Рассмотрим влияние предпосевной бактеризации на содержание глутатиона в листьях озимой пшеницы, выращенной на делянках, загрязненных ТМ. Установлено, что применение КМП для инокуляции семян способствовало

снижению массовой доли глутатиона в листьях бактеризованных растений по сравнению с неинокулированными на 5–25 %. На наш взгляд, это свидетельствует о повышении адаптивного потенциала бактеризованных растений к негативным воздействиям ТМ и менее интенсивном развитии окислительного стресса. Однако необходимо отметить, что в фазе весеннего кущения не выявлено существенной разницы в содержании глутатиона в листьях бактеризованных растений по сравнению с неинокулированными (32,7 и 32,5 мг/г соответственно) при загрязнении почвы на уровне 5 ПДК ТМ. В то же время отмечено достоверное снижение массовой доли глутатиона в листьях пшеницы, выращенной из бактеризованных семян, по сравнению с неинокулированными, при загрязнении почвы на уровне 10 и 20 ПДК ТМ: на 25 % и 15 % соответственно (таблица 2). Подобные результаты получены и в фазе выхода в трубку: разница в содержании глутатиона в листьях неинокулированных и бактеризованных растений, выращенных при загрязнении почвы на уровне 5 ПДК ТМ, а также в контроле, была незначительной. Так, массовая доля глутатиона в листьях пшеницы, выросшей из неинокулированных и бактеризованных семян на контрольных делянках, достигала 59,8 и 59,4 мг/г, а при загрязнении почвы на уровне 5 ПДК ТМ – 71,1 и 67,9 мг/г соответственно. Следует подчеркнуть, что применение КМП для предпосевной инокуляции семян способствовало достоверному снижению содержания глутатиона в листьях пшеницы в фазе трубкования при загрязнении почвы на уровне 10 и 20 ПДК ТМ: на 5 % и 11 % соответственно. Установленный факт снижения массовой доли антиоксидантов неферментативной природы (аскорбиновой кислоты и глутатиона) в листьях бактеризованных растений озимой пшеницы на наш взгляд свидетельствует о формировании адаптивных реакций к воздействию ТМ.

Анализ результатов, полученных в условиях модельного микрополевого эксперимента, показал, что загрязнение почвы ТМ приводит к снижению содержания фотосинтезирующих пигментов в листьях озимой пшеницы (рисунок 1).

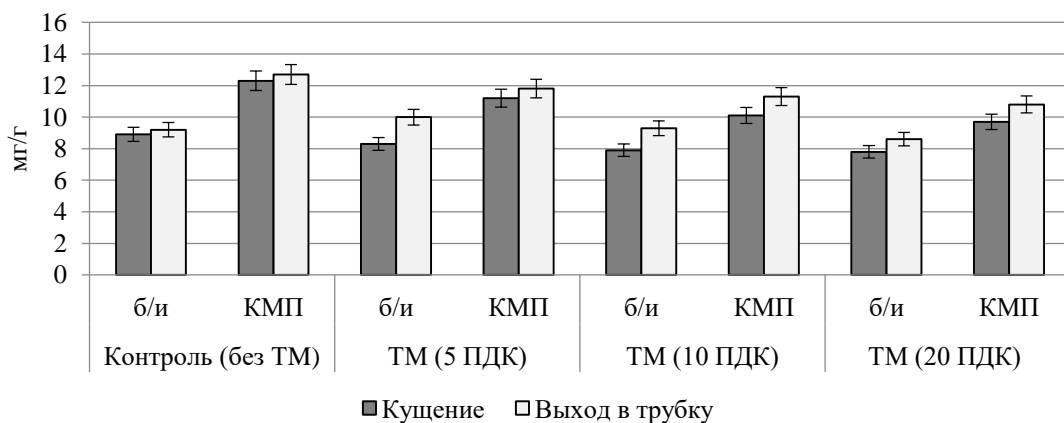


Рисунок 1 – Содержание фотосинтезирующих пигментов (сумма хлорофиллов *a* + *b*) в листьях озимой пшеницы, мг/г сырой массы (среднее за 2016–2018 гг.)

Примечание. б/и – без инокуляции.

Так, в фазе весеннего кущения сумма хлорофиллов *a* + *b* в листьях растений контрольного варианта составляла 8,9 мг/г сырой массы, а при загрязнении почвы их содержание снижалось на 7–11 % в зависимости от уровня ПДК ТМ. В фазе выхода в трубку отмечено повышение содержания количества фотосинтезирующих

пигментов в листьях пшеницы всех вариантов на 11–35 % по сравнению с фазой весеннего кущения. Однако, загрязнение почвы ТМ также негативно повлияло на этот показатель: сумма хлорофиллов $a + b$ в листьях небактеризованных растений снизилась на 9–22 % против контроля.

Применение микробных препаратов для предпосевной инокуляции семян способствовало достоверному возрастанию содержания фотосинтезирующих пигментов в листьях озимой пшеницы в фазе весеннего кущения: как в контроле (фон), так и при загрязнении почвы ТМ – на 3 % и 8–15 % соответственно. Подобная тенденция выявлена и в фазе выхода в трубку озимой пшеницы: содержание суммы хлорофиллов $a + b$ в листьях бактеризованных растений было выше, чем без инокуляции. Полученные результаты подтверждают наши предыдущие исследования, в которых установлено положительное влияние КМП на содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях озимой пшеницы в условиях вегетационных опытов [23].

Рассмотрим воздействие изучаемых микробных препаратов на зерновую продуктивность озимой пшеницы. Анализ результатов, полученных в модельном микрополевым опыте, свидетельствует о том, что предпосевная бактеризация семян способствовала возрастанию урожайности зерна озимой пшеницы как в контрольном варианте, так и при загрязнении почвы ТМ (рисунок 2). Так, применение КМП обеспечило прибавку урожая на 41 % (0,09 кг/м² или 0,9 т/га) в контрольном варианте. При загрязнении почвы на уровне 5; 10 и 20 ПДК ТМ зерновая продуктивность пшеницы возрастала на 56; 50 и 40 % соответственно.

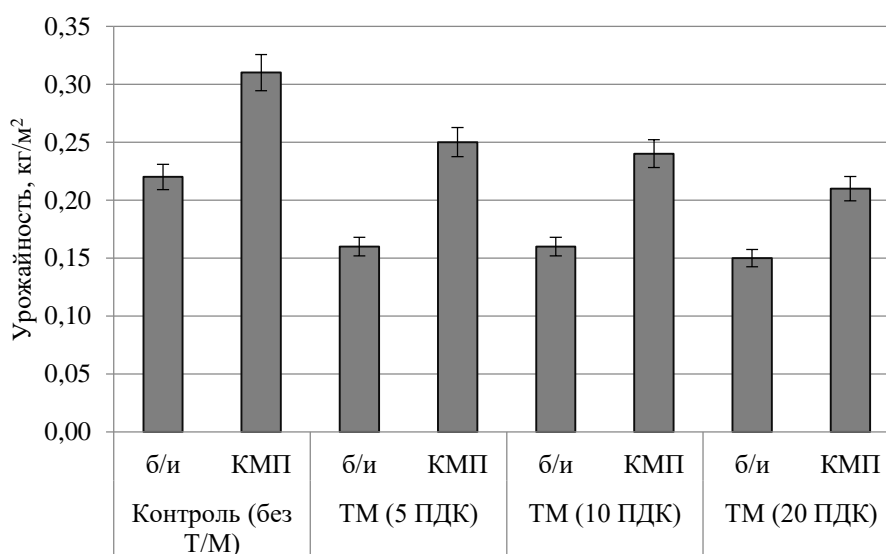


Рисунок 2 – Зерновая продуктивность озимой пшеницы в условиях модельного микрополевого опыта (среднее за 2016–2018 гг.)

Примечание. б/и – без инокуляции.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о положительном влиянии предпосевной инокуляции семян озимой пшеницы КМП на физиолого-биохимические параметры (на примере содержания массовой доли аскорбиновой кислоты и глутатиона как компонентов неферментативной антиоксидантной системы защиты) и фотосинтезирующих пигментов в листьях, что способствует формированию адаптивного потенциала растений к стрессовому воздействию ТМ. Установлено также положительное влияние КМП на зерновую

продуктивность озимой пшеницы: она возростала на 40–56 % в зависимости от варианта опытов по сравнению с вариантом без инокуляции.

Выводы

Исследовано влияние предпосевной бактериализации комплексом микробных препаратов на физиолого-биохимические показатели растений озимой пшеницы при загрязнении почвы ТМ (Pb, Cu, Cr) в условиях модельных микрополевых опытов (почва чернозем южный тяжелосуглинистый). Определены физиолого-биохимические параметры растений: содержание в листьях фотосинтезирующих пигментов (сумма хлорофиллов $a + b$) и массовая доля компонентов неферментативной антиоксидантной системы (аскорбиновой кислоты и глутатиона) как показателей их адаптивности к ТМ.

Установлено, что загрязнение почвы ТМ приводило к увеличению содержания аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях озимой пшеницы и снижению количества фотосинтетических пигментов. Показано, что бактеризованные растения озимой пшеницы обладают большей устойчивостью к окислительному стрессу благодаря снижению содержания важных компонентов антиоксидантных систем: аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях.

Показано, что бактериализация способствует снижению содержания аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях пшеницы на 8–20 % и 5–25 % против контроля соответственно. Выявлено, что содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях бактеризованных растений повышается как в вариантах фона (без внесения ТМ), так и при загрязнении почвы ТМ (сумма хлорофиллов $a + b$ в листьях в фазе весеннего кущения пшеницы возростала на 8–15 % против контроля). Это обстоятельство может служить объяснением повышения продуктивности растений под воздействием микробных препаратов. Выявлено положительное влияние бактериализации на зерновую продуктивность озимой пшеницы: в условиях модельных микрополевых опытов она возростала на 40–56 % (0,08–0,09 кг/м²) против контроля.

Литература

1. Синютина С. Е., Можаров А. В., Зайченко М. А. Влияние солей свинца и никеля на ферментативную активность ячменя // Вестник Тамбовского государственного университета. 2013. Т. 18. Вып. 1. С. 255–257.
2. Сыщиков Д. В. Состояние антиоксидантной глутатионзависимой системы проростков кукурузы при действии соединений кадмия // Вестник Харьковского аграрного университета. Серия «Биология». 2009. Вып. 1 (16). С. 45–51.
3. Grishko V. N. Functioning of some links of the non-enzymatic antioxidant protection system of plant cell at the fluorine action // Материалы Международной конференции «Современная физиология растений: от молекул до экосистем». Часть 2. Сыктывкар, 2007. С. 101–103.
4. Maier E. A., Matthews R. D., McDowell J. A., Walden R. R., Ahner B. A. Environmental cadmium levels increase phytochelatin and glutathione in lettuce grown in a chelator-buffered nutrient solution // J. Environ. Qual. 2003. Vol. 32. No. 4. P. 1356–1364.
5. Чайковская Л. А., Баранская М. И., Овсиенко О. Л., Клименко Н. Н. Влияние бактериализации на устойчивость пшеницы озимой к воздействию тяжелых металлов // Научные труды SWorld. 2015. Вып. 12. № 3 (40). С. 7–12.
6. Прядкина Г. А., Шадчина Т. М. Связь между показателями мощности развития фотосинтетического аппарата и зерновой продуктивностью озимой пшеницы в разные по погодным условиям годы // Физиология и биохимия культурных растений. 2009. Т. 41. № 1. С. 59–68.
7. Прядкина Г. А., Шадчина Т. М., Стасик О. О., Киризий Д. А. Фотосинтез // Фотосинтез и продуктивность растений. Т. 3. Киев: Логос, 2015. 480 с.
8. Иутинская Г. А. Математическое моделирование в микробиологическом мониторинге почв, загрязненных тяжелыми металлами // Почвоведение. 2005. № 5. С. 594–599.
9. Биорегуляция микробно-растительных систем: Монография // под общ. ред. Иутинской Г. А., Пономаренко С. П. Киев: Ничлава, 2010. 464 с.

10. Белимов А. А., Тихонович И. А. Микробиологические аспекты устойчивости и аккумуляции тяжелых металлов у растений // Сельскохозяйственная микробиология. 2011. № 3. С. 17–22.
11. Чеботарь В. К., Завалин А. А., Кипрушкина Е. Н. Эффективность применения биопрепарата Экстрасол. М.: Издательство ВНИИА, 2007. 216 с.
12. Методологія і практика використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур // За заг. ред. Волкогона В. В. Київ: Аграрна наука, 2011. 156 с.
13. Біотехнологія ризосфери овочевих рослин: Монографія // за ред. Патики В. П. Вінниця: «ПП«ТД Едельвейс і К», 2015. 266 с.
14. Тихонович И. А., Проворов Н. А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельскохозяйственная микробиология. 2011. № 3. С. 3–9.
15. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика // за заг. ред. Волкогона В. В. Київ: Аграрна наука, 2006. 312 с.
16. Завалин А. А., Алметов Н. С. Применение биопрепаратов и биологический азот в земледелии Нечерноземья. М.: Издательство ВНИИА, 2009. 152 с.
17. Новые технологии производства и применения биопрепаратов комплексного действия // под ред. Завалина А. А., Кожемякова А. П. СПб: ХИМИЗДАТ, 2010. 64 с.
18. Iutynska G. O., Biliavska L. O., Tytova 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, 2017. 83 p.
19. 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» // Л. А. Чайковская, Т. Н. Мельничук, И. А. Каменева, М. И. Баранская, О. Л. Овсиенко. 2019. Бюлл. № 2. 12 с.
20. Грицаенко З. М., Грицаенко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К.: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2003. 320 с.
21. Гавриленко В. Ф., Ладыгина М. Е., Хандобина Л. М. Большой практикум по физиологии растений: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1975. 392 с.
22. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Книга по требованию, 2012. 351 с.
23. Чайковская Л. А., Баранская М. И., Овсиенко О. Л., Клименко Н. Н. Содержание хлорофиллов в листьях пшеницы озимой при инокуляции комплексом биопрепаратов в условиях загрязнения почвы тяжелыми металлами // Материалы XXXIX Международной научно-практической конференции «Научная дискуссия: вопросы математики, физики, химии, биологии». № 3 (31). М.: Издательство «Интернаука», 2016. С. 84–88.

References

1. Sinyutina S. E., Mozharov A. V., Zaichenko M. A. Influence of lead and nickel salts on enzymatic activity of barley // Tambov University Reports. Series “Natural and Technical Sciences”. 2013. Vol. 18. Iss. 1. P. 255–257.
2. Syshchikov D. V. State of antioxidant glutationedependent system of maize plantlets at actions of cadmium compounds // The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University: Series “Biology”. 2009. Iss. 1 (16). P. 45–51.
3. Grishko V. N. Functioning of some links of the non-enzymatic antioxidant protection system of plant cell at the fluorine action // Materials of International Conference “The modern plant physiology: from molecules to ecosystems”. Part 2. Syktyvkar, 2007. P. 101–103.
4. Maier E. A., Matthews R. D., McDowell J. A., Walden R. R., Ahner B. A. Environmental cadmium levels increase phytochelatin and glutathione in lettuce grown in a chelator-buffered nutrient solution // J. Environ. Qual. 2003. Vol. 32. No. 4. P. 1356–1364.
5. Chaikovskaya L. A., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L., Klimenko N. N. The influence of bacterization on the resistance of winter wheat to the effects of heavy metals // Scientific papers of SWorld. 2015. Vol. 12. No. 3 (40). P. 7–12.
6. Priadkina G. A., Shadchina T. M. Relationship between parameters of power development of the photosynthetic apparatus and yield of winter wheat plants grown in years with different weather conditions // Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants. 2009. Vol. 41. No. 1. P. 59–68.
7. Priadkina G. A., Shadchina T. M., Stasik O. O., Kiriziy D. A. Photosynthesis // Photosynthesis and plant productivity. Vol. 3. Kyiv: Logos, 2015. 480 p.
8. Iutynskaya G. A. Mathematical modeling in the microbiological monitoring of soils contaminated with heavy metals // Pochvovedenie. 2005. No. 5. P. 594–599.
9. Bioregulation of microbial-plant systems: Monography // Ed. by Iutynskaya G. O., Ponomarenko S. P. Kyiv: JSC “NICHЛАVA”, 2010. 464 p.

10. Belimov A. A., Tikhonovich I. A. Microbiological aspects of resistance and accumulation of heavy metals by plants // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2011. No. 3. P. 10–15.
11. Chebotar V. K., Zavalin A. A., Kiprushkina E. N. Efficiency of application of biopreparation Extrasol. Moscow. Publishing house of All Russia Research Institute of Agrochemistry, 2007. 216 p.
12. Methodology and practice of using microbial agents in agricultural crop cultivation technologies // Ed. by Volkogon V. V. Kyiv: Agrarna Nauka, 2011. 156 p.
13. Biotechnology of vegetable plants rhizosphere: Monograph // Ed. by Patyka V. P. Vinnitsa: Publishing house "SH Edelweiss & K", 2015. 266 p.
14. 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. P. 3–9.
15. Microbial preparations in agriculture. Theory and practice: Monograph // Ed. by Volkogon V. V. Kyiv: Agrarna Nauka, 2006. 312 p.
16. Zavalin A. A., Almetov N. S. Application of biological preparations and biological nitrogen in agriculture of non-Chernozem region. Moscow: Publishing house ARRIA, 2009. 152 p.
17. New technologies of production and application of complex action biopreparations // Ed. by Zavalin A. A., Kozhemyakov A. P. Saint-Petersburg: KHIMIZDAT, 2010. 64 p.
18. 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" // Chaikovskaya L. A., Melnichuk T. N., Kameneva I. A., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L. Bul. No. 2. 11.01.2019. 12 p.
19. Gritsaenko Z. M., Gritsaenko A. A., Karpenko V. P. Methods of biological and agrochemical research of plants and soils. Kyiv: JSC "NICHLAVA", 2003. 320 p.
20. Gavrilenko V. F., Ladygina M. E., Khandobina L. M. Big tutorial on plant physiology: Textbook. Moscow: Vyschaya shkola, 1975. 392 p.
21. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 351 p.
22. Chaikovskaya L. A., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L., Klimenko N. N. The content of chlorophylls in winter wheat leaves at inoculation by a complex of biological preparations in the conditions of soil pollution by heavy metals // Materials of the XXXIX International scientific and practice conference "Scientific discussion: questions of mathematics, physics, chemistry, biology". No. 3 (31). Moscow: Internauka, 2016. P. 84–88.

UDC 579.2: 581.1: 632.122: 633.11

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

EFFECT OF MICROBIAL PREPARATIONS ON THE ADAPTIVE POTENTIAL OF WINTER WHEAT UNDER THE INFLUENCE OF HEAVY METALS

Summary. *The article presents the results of the influence of microbial preparations on the components of the non-enzymatic antioxidant protection system of winter wheat *Triticum aestivum* L. when soil (southern Chernozem heavy loam) is contaminated with heavy metals (HM). For pre-sowing inoculation of seeds, a complex of microbial preparations (CMP) was used, including 1) Diazophyte; 2) preparation based on *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3; 3) Biopolycid in a ratio of 1:1:1. The aim of our research was to study the influence of CMP on the formation of adaptive potential (non-enzymatic antioxidant protection system) of winter wheat under soil contamination with HM (Pb, Cu, Cr) in model microfield experiments. The physiological and biochemical parameters of plants were determined: the content of photosynthetic pigments in the leaves (the sum of chlorophylls a+b) and the functioning of antioxidant non-enzymatic systems (ascorbic acid and glutathione) as an indicator of their adaptability to HM. Soil contamination with HM led to an increase in the content of ascorbic acid and glutathione in the leaves of winter wheat and a decrease in the content of photosynthetic pigments. Bacterization helps to reduce the content of ascorbic acid and glutathione in wheat leaves under microfield experiments: by 8–20 % and 5–25 % compared to control, respectively. The content of photosynthetic pigments in leaves of bacterized plants increases both in the control variant (without HM) and in the variant with contaminated soil (the amount of*

chlorophyll (a+b) in leaves in the phase of spring tillering increased by 8–15 % compared to control. The positive effect of bacterization on grain productivity of winter wheat was established. It increased by 40–56 % (0,08–0,09 kg/m²) compared to control.

Keywords: *microbial preparations, winter wheat, heavy metals, ascorbic acid, glutathione, grain productivity.*

Чайковская Людмила Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295000, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Баранская Марина Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295000, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: baranskaya@rambler.ru.

Овсиенко Ольга Леонидовна, старший научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295000, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: olov sien@mail.ru.

Клименко Нина Николаевна, научный сотрудник ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ninaklymenko@yandex.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, 295000, 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, 295000, Russia; e-mail: baranskaya@rambler.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, 295000, Russia e-mail: olov sien@mail.ru.

Klimentko Nina Nikolaevna, researcher of FSBIS “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295000, Russia; e-mail: ninaklymenko@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 02.09.2019.

Дата принятия к печати – 01.10.2019.