

Оценка биологической активности ризосферы *Sorghum bicolor* (L.) Moench под влиянием микробных препаратов в условиях прямого посева в степной зоне Крыма

Абдурашитова Э. Р., Мельничук Т. Н., Абдурашитов С. Ф.

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма
Симферополь, Республика Крым, Россия
elvi-jadore@mail.ru

В условиях степной зоны растения часто испытывают недостаток влаги, что отражается на биохимических функциях их развития. Целью работы являлось изучение ферментативной активности почвы ризосферы *Sorghum bicolor* (L.) Moench под влиянием интродуцируемых микроорганизмов условиях технологии прямого посева и дефицита влаги. Период вегетации сорго зернового за 2018–2020 годы проведения исследования характеризовался высокотемпературными и засушливыми условиями, недостаток осадков достигал до 68,5 % в сравнении со среднегодовыми показателями. Установлено влияние условий года и комплекса микробных препаратов (КМП) на изменения ферментативной активности ризосферы сорго зернового на уровне $p \leq 0,05$. По результатам ферментативной активности почвы рассчитан ИПБС (интегральный показатель биологического состояния), значение которого близко к 80 % с КМП, что показывает стабильность чернозема южного ризосферы при прямом посеве. В тоже время в контрольном варианте без предпосевной обработки семян КМП, ИПБС с каждым годом снижался 92,8–61,1 %, что свидетельствует о замедлении биологических процессов. Результаты исследований показали, что адаптация растений сорго к воздействиям абиотических условий окружающей среды осуществляется регулированием ферментативной активности ризосферы путем интродукции микроорганизмов. В связи с этим сделано заключение, что применение микробных препаратов целесообразно при выращивании сорго зернового в условиях прямого посева в степной зоне Крыма.

Ключевые слова: *Sorghum bicolor*, ризосфера, прямой посев, биопрепараты, ферментативная активность, интегральный показатель биологического состояния, степная зона, Крым.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях степной зоны растения испытывают недостаток влаги, что отражается на биохимических функциях их развития. Технология прямого посева (no-till) способствует максимальному сохранению физических свойств почвы, препятствует ее эрозии, а также повышает доступность воды растениям в вегетационный период, накоплению в почве органического вещества, сокращению затрат на обработку почвы (Корчагин и др., 2015; Page et al., 2020). Все больше возрастает количество стран, применяющих no-till, площади под которой составляют около 12,5 % мировых пахотных земель (Kassam et al., 2019; Dang et al., 2020). Широкомасштабное использование системы земледелия прямого посева способствует сокращению всех форм деградации земель и сокращению выбросов парниковых газов в сельском хозяйстве (Горянин и др., 2019; Dang et al., 2020). Однако, следует помнить и о существующих проблемах при ее внедрении: это ухудшение фитосанитарной обстановки – болезни растений, сорняки, накопление пестицидов, вследствие чего происходит замедление биохимических процессов в почве, потеря урожая и снижение его качества (Железова, 2019).

Известно, что биологическая коррекция агрофитоценозов предполагает улучшение обеспеченности питания в системе почва–растение за счет интенсификации биохимических процессов и определяет продуктивность последних в различных почвенно-климатических условиях (Hafez et al., 2020). В результате жизнедеятельности микроорганизмов изменяется активность ферментов почвы, влияющая на стабильность экосистемы и ее плодородие (Smith et al. 1993). Ферментативная активность ризосферы может быть одним из диагностических показателей плодородия почвы (Хазиев, 2005). Ферменты класса оксидоредуктаз участвуют в процессах, как минерализации органического вещества почвы, так и гумусообразования.

Несбалансированность биохимических реакций может вызвать потери газообразного углекислого газа почвой. Засухоустойчивая культура *Sorghum bicolor* (L.) Moench занимает в мировом земледелии 70-75 млн га и находится по посевным площадям на пятом месте после пшеницы, риса, кукурузы и ячменя, что является перспективной для зоны рискованного земледелия (Топари et al., 2020). Сорго зерновое используется как корм для животных как в развитых, так и в развивающихся странах. Проведены исследования по доступности щелочных элементов (Ca, Mg, Na) при выращивании сорго зернового, установлено их повышение под влиянием ассоциативных бактерий и микоризных грибов (Dhawi, Hess, 2017). Применение микробных препаратов в предпосевной инокуляции семян на основе штаммов ассоциативных бактерий могут проявить многостороннее влияние на физиологическом, биохимическом и молекулярном уровнях, положительно воздействовать на рост, развитие и защитные свойства растений (Singh et al., 2020). Поскольку данная культура только набирает обороты выращивания в России, исследования по изучению влияния засушливых условий степной зоны Крыма и подбор эффективных штаммов бактерий в технологии прямого посева для адаптации сорго зернового еще мало изучены. Таким образом, для повышения продуктивности растений необходимо понимание экологии ризосферы.

Цель работы – изучить ферментативную активность почвы ризосферы *S. bicolor* под влиянием интродуцируемых микроорганизмов в условиях дефицита влаги и технологии прямого посева.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Постановка полевого опыта. Определение биологической активности в ризосфере *S. bicolor* проводили в пятипольном севообороте стационарного опыта в 2018–2020 годах. Стационарный опыт заложен в 2015 году в степной зоне чернозема южного на базе ФГБУН «НИИСХ Крыма» (45°31'48.5"N 34°11'47.9"E). Предшественник сорго – озимый ячмень. Культуру выращивали по технологии прямого посева (ПП) с предпосевной обработкой семян комплексом микробных препаратов (КМП) и без обработки (контроль). КМП включает: Биополлицид (основная функция – защита растений от фитопатогенов), Фосфостим (ростстимуляция и фосфатмобилизация), Диазофит (участвует в азотном питании). Биопрепараты производятся на основе штаммов Крымской коллекции микроорганизмов (<http://ckp-rf.ru/usu/507484/>): *Paenibacillus polymyxa* П, *Lelliottia nimipressuralis* 32–3, *Agrobacterium tumefaciens* 204 соответственно. Отбор растительно-почвенных образцов проводили по методу конверта (в пяти точках) в трех кратной повторности в фазу выметывания растений. Лабораторные исследования проводили ризосферной почвы, прилегающей к корню (0–5 мм), размерной фракции 1–2 мм, полученной просеиванием.

Условия проведения опыта. Чернозем южный малогумусный на лессовидных легких глинах характеризовался следующим составом: количество гумуса (по Тюрину) – 2,0–2,2 %, подвижного фосфора и калия (по Мачигину) – 4,0–4,2 мг на 100 г почвы и 40,0 соответственно. В 2018 году до посева сорго зернового сложились довольно жесткие погодные условия. Весна переходила в лето ускоренными темпами. Почва во II декаде апреля прогрелась до 15 °С. В конце весны метеорологи отметили начало опасного метеоявления – почвенная засуха, а в I–II декадах июля – суховежные ветра. За весенний период выпало 42,1 мм осадков, что в 2,4 раза меньше среднемноголетнего показателя. Ливневые дожди прошли в июле (136,8 мм), что способствовало кущению сорго. Посеянное в полусухую почву сорго имело изреженные всходы. Дожди, хотя и довольно поздние, способствовали выравниванию всходов, и к уборке сорго зернового имело нормальную густоту.

В 2019 год влаги в посевном слое было недостаточное количество, за два месяца (март, апрель) до посева выпало всего 38,6 мм осадков, что меньше в 1,5 раза среднемноголетней нормы. В июне и в июле количество осадков превышало среднемноголетние показатели в 2,0 и 1,6 раза соответственно. В остальные месяцы до уборки сорго зерновое сопровождали засушливые условия.

Весна 2020 года по количеству осадков характеризовалась как острозасушливая. До посева в весенний период выпало на 68,5 % осадков меньше среднееголетних показателей, пролил только один хозяйственно-полезный дождь. На протяжении всей вегетации сорго также наблюдали снижение количества осадков на 17,9–66,3 %. Отличился только месяц июнь, в котором количество осадков превысило среднееголетние показатели на 43,4 %.

Биохимические исследования. Определение показателей ферментативной активности чернозема южного ризосферы сорго зернового проводили, используя соответствующие методы (Грицаенко, 2003; Хазиев, 2005). Активность термолабильных каталаз оценивали по скорости распада перекиси водорода при взаимодействии с почвой с газометрической детекцией выделяющегося кислорода. В основе фотометрического определения активности пероксидаз лежит их способность окислять перекись водорода под действием гваякола до тетрагваяколхинона, который окрашивается в красно-коричневый цвет. Оценка активности полифенолоксидаз строится на их способности катализировать реакции окисления дифенолов (пирокатехин) кислородом воздуха в 0-хинон. Интенсивность эмиссии CO₂ исследовали адсорбционным методом (Методические рекомендации, 1981).

Интегральные показатели. Для определения биологической активности ризосферной почвы выбран интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) (Казеев, Колесников, 2012). Коэффициент гумификации рассчитывали по отношению активности полифенолоксидаз к активности пероксидаз.

Статистическую обработку проводили в программах Microsoft Excel 2016 и Statistica 10.0, рассчитывая стандартную ошибку средней ($\bar{x} \pm S\bar{x}$). Долю влияния факторов оценивали при $p \leq 0,05$ согласно дисперсионного анализа (Доспехов, 1985). За факторы при выращивании сорго зернового рассматривали: год исследования и обработка семян биопрепаратами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ферменты почв осуществляют функциональные связи между компонентами любой экосистемы, в том числе и агроценоза, и отражают работу живых организмов (Хазиев, 2015). Каталаза участвует в разложении токсичной для клеток перекиси водорода, образующейся в процессе жизнедеятельности организмов, и показывает уровень антропогенной нагрузки на почву. Согласно результатам двухфакторного дисперсионного анализа, установлено влияние условий года – 92,4 % на каталазную активность ризосферы сорго (табл. 1). В литературе имеются данные показывающие, что даже незначительное превышение влажности черноземов приводит к перестройке микробных сообществ и тесно связанных с ними окислительно-восстановительных реакций (Турусов и др., 2019). Так, отмечено, что в условиях 2019 года активность каталазы значительно увеличилась в 1,6–2,0 раза под влиянием биопрепаратов и 1,5–1,6 раз в контроле в сравнении с 2018 и 2020 годом.

Таблица 1

Каталазная активность ризосферы сорго зернового в фазу выметывания в условиях прямого посева (чернозем южный, 2018–2020 годы)

Вариант опыта	Активность каталаз, мл O ₂ /минуту/г почвы			Вклад факторов в активность каталаз, %
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	
Контроль (без обработки)	22,7±0,2	36,1±2,0	23,9±0,1	
Обработка с КМП	20,1±1,6	39,7±0,4	24,5±1,0	

Примечание к таблице. * – различия достоверны при $p \leq 0,05$; ± – стандартная ошибка средних.

Пероксидаза катализирует окисление органических соединений почвы за счет кислорода перекиси водорода и органических перекисей и поступает в ризосферу в виде прижизненных выделений корней растений и микроорганизмов (Хазиев, 2015). Далее образующиеся соединения взаимодействуют с аминокислотами и пептидами, образуя молекулы гумусовых кислот. В наших исследованиях при изучении активности пероксидаз установлены различия (табл. 2), доля вклада факторов в изменение работы ферментов при применении биопрепаратов составила 2 %, но взаимовлияние года исследования и применение биопрепаратов увеличила в 34,1 раза в ризосфере сорго в условиях степной зоны. Первые два года полевых экспериментов показали, что предпосевная обработка семян с КМП способствовало уменьшению активности фермента на 17,1 и 33,4 % соответственно в сравнении с контролем.

Таблица 2

Влияние комплекса микробных препаратов (КМП) на активность пероксидаз ризосферы сорго в фазу выметывания в условиях прямого посева (чернозем южный, 2018–2020 годы)

Вариант опыта	Активность пероксидаз, мкмоль C ₇ H ₈ O ₂ / 100 г почвы			Вклад факторов в активность пероксидаз, %
	2018 год	2019 год	2020 год	
Контроль (без обработки)	*2,80±0,03	*2,99±0,04	*2,40±0,04	<ul style="list-style-type: none"> ■ *год ■ *обработка ■ *год-обработка ■ ошибка
Обработка с КМП	*2,32±0,03	*1,99±0,04	*4,60±0,04	

Примечание к таблице. * – различия достоверны при $p \leq 0,05$; ± – стандартная ошибка средней.

В условиях 2020 года применение комплекса микробных препаратов способствовало повышению активности ферментов этого класса на 91,7 %. Возможно, это связано с тем, что один хозяйственно-полезный дождь в активной фазе развития растений, способствовал повышению активности интродуцированных в ризосферу микроорганизмов и, как следствие, выделению корневых экссудатов. О. М. Минаевой с соавторами (2019) сделаны предположения, что увеличение активности пероксидаз может быть связано со способностью бактерий положительно влиять на усиление защитных механизмов растений, предотвращающих их окислительное повреждение при неблагоприятных условиях. Зарубежными исследователями проведены эксперименты подтверждающие, что после восстановления благоприятных условий среды у избирательных устойчивых к засухе микроорганизмов происходит регидратация клеток (Manzanera, 2020).

Важную роль в образовании гумусовых веществ, устойчивых к разложению, выполняют полифенолоксидазы. Вклад факторов, согласно дисперсионного анализа показал, что на активность полифенолоксидаз в ризосфере сорго оказывали влияние год, предпосевная бактериализация и их взаимовлияние (табл. 3). В отличие от других ферментов на активность полифенолоксидаз фактор обработки семян биопрепаратами оказал максимальное влияние, превышение которого составляло 1,3–1,8 раза относительно остальных рассматриваемых. Так под воздействием биопрепаратов комплексного действия, установлено увеличение активности полифенолоксидаз в 4,7 (2019 год) и в 2,4 раза (2020 год) в ризосфере сорго (табл. 3). Низкая активность полифенолоксидаз в контроле может быть связана с агрессивностью погодных условий, которые приводят к быстрому исчерпанию доступных субстратов и кислорода (Якушев, 2014).

Таблица 3

Влияние комплекса микробных препаратов (КМП) в условиях прямого посева на активность полифенолоксидаз ризосферы сорго в фазу выметывания (чернозем южный, полевой опыт, 2018–2020 годы)

Вариант опыта	Активность полифенолоксидаз, мл КЮ ₃ / 100 г почвы			Вклад факторов в активность полифенолоксидаз, %
	2018 год	2019 год	2020 год	
Контроль (без обработки)	1,16±0,07	*0,83±0,07	*0,73±0,00	
Обработка с КМП	1,31±0,00	*3,89±0,29	*1,75±0,08	

Примечание к таблице. * – статистическая значимость $p \leq 0,05$; ± – стандартная ошибка средних.

Изучение направленности процессов трансформации органического вещества или образование гумусовых веществ, оценивали по значению условного коэффициента гумификации Кгум (рис. 2). Так, значение Кгум меньше единицы указывает на то, что в почве преобладают минерализационные процессы, больше – гумификации. Усиление гумификации в 2019 год в варианте с применением КМП возможно связано с благоприятствующими погодными условиями для жизнедеятельности интродуцируемых в ризосферу микроорганизмов и активизации процессов, направленных на синтез органического вещества.

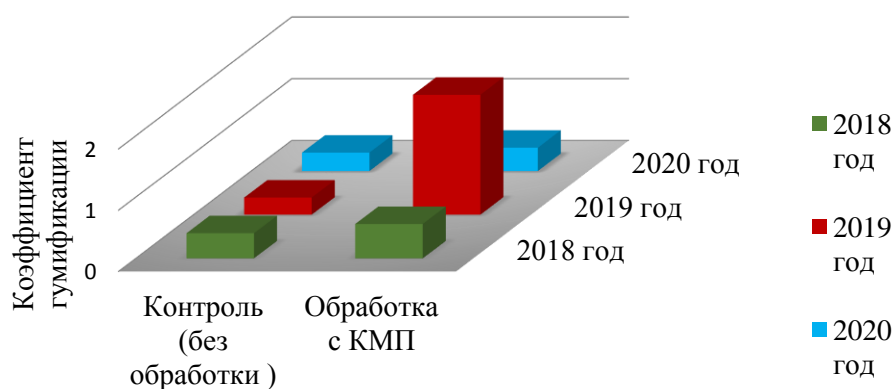


Рис. 2. Влияние комплекса микробных препаратов (КМП) в условиях прямого посева на коэффициент гумификации, в ризосфере сорго в фазу выметывания (чернозем южный, полевой опыт, 2018–2020 годы)

Показатели почвенного дыхания дают представление об активности почвенного микробоценоза, а также позволяют оценить потери органического вещества вследствие процессов минерализации (Пуртова и др., 2013). Анализ данных за 2018–2020 года показал, что угнетение процессов эмиссии CO₂ в ризосфере сорго обеспечивается применением биопрепаратов (11,3 %) и влиянием различных погодных условий (75,1 %) (табл. 4). Так, при использовании КМП выявлены тенденции снижения концентрации углекислого газа в почве на 9,1 % в 2018 год, в 2019 год – 20,8 % и в 2020 год – 8,7 %.

Таблица 4

Влияние комплекса микробных препаратов (КМП) в условиях прямого посева на эмиссию CO₂ в ризосфере сорго в фазу выметывания (чернозем южный, полевой опыт, 2018–2020 годы)

Вариант опыта	Эмиссия CO ₂ , мкг/г почвы			Вклад факторов в эмиссию CO ₂ , %
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	
Контроль (без обработки)	160,8±8,4	112,8±5,6	137,4±7,6	
Обработка с КМП	146,2±0,0	89,4±7,4	125,5±4,3	

Примечание к таблице. * – статистическая значимость $p \leq 0,05$; ± – стандартная ошибка средней.

По данным ферментативной активности и эмиссии углекислого газа ризосферы сорго зернового рассчитали интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы (рис. 3). ИПБС позволяет оценить степень состояния и функционирования почвы. На основании сравнительного анализа ИПБС опытных вариантов, проводимых на протяжении 2018–2020 годов установлена линейная закономерность ее снижения в контрольном варианте на 31,7 % за три года и стабильность данного показателя с применением предпосевной бактериализации близком к 80 %. Снижение показателя ИПБС в контрольном варианте свидетельствует о замедлении биологических процессов.

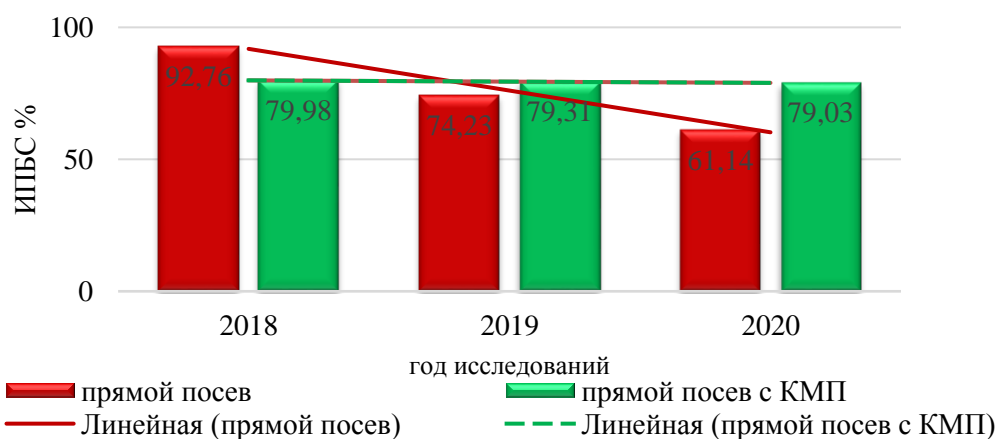


Рис. 3. Влияние комплекса микробных препаратов в условиях прямого посева на ИПБС (%) ризосферы сорго в фазу выметывания (чернозем южный, полевой опыт, 2018–2020 годы)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований (2018–2020 годы) показали, что адаптация растений сорго к воздействиям абиотических условий окружающей среды осуществляется регулированием ферментативной активности ризосферы путем интродукции микроорганизмов. В условиях 2020 года применение комплекса микробных препаратов способствовало повышению активности пероксидаз на 91,7 %, что может быть связано со способностью бактерий положительно влиять на усиление защитных механизмов растений в ответ стресс вызванной засухой. Под воздействием биопрепаратов комплексного действия, установлено увеличение

активности полифенолоксидаз в 4,7 (2019 год) и в 2,4 раза (2020 год) в ризосфере сорго. Низкая активность полифенолоксидаз в контроле может быть связана с агрессивностью погодных условий, которые приводят к быстрому исчерпанию доступных питательных веществ и кислорода. О сокращении потери органического вещества почвы свидетельствует угнетение процессов эмиссии CO₂, что отмечено в ризосфере сорго под влиянием микробных препаратов. Показано, что активный период развития растений сорго зернового 2019 года характеризовался избыточным увлажнением и значительным возрастанием активности каталаз, и снижением эмиссии CO₂ в ризосфере в сравнении с засушливыми годами. Таким образом, в условиях прямого посева при воздействии высоких температур и водного дефицита, сменяющегося переувлажнением, установлено положительное влияние комплекса микробных препаратов на изменение биологической активности ризосферы *S. bicolor*. Выявлено, что значение интегрального показателя биологического состояния ризосферы в условиях прямого посева снижается за годы исследований с 92,8 % до 61,1 %, что свидетельствует о замедлении биохимических процессов и ухудшение экологического состояния почвы. В тоже время применение биопрепаратов комплексного действия способствует снижению неблагоприятного воздействия окружающей среды в системе почва – растение, о чем свидетельствуют стабильные показатели ИПБС на уровне близком к 80 %. В связи с этим, можно сделать заключение, что применение микробных препаратов целесообразно при выращивании культуры сорго зерновое в условиях прямого посева в степной зоне.

Работа выполнена в рамках государственного задания фундаментальных исследований ФГБУН «НИИ СХ Крыма» № 0834-2019-0004 «Экологическое обоснование альтернативных способов улучшения плодородия почвы при разных системах земледелия»

Список литературы

- Горянин О. И., Васин А. В., Щербинина Е. В., Джангабаев Б. Ж., Пронович Л. В., Медведев И. Ф. Эффективное плодородие при прямом посеве яровой пшеницы в Среднем Заволжье // Аграрный научный журнал. 2019. – № 6. – С. 4–9.
- Грицаенко З. М., Грицаенко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин та ґрунтів. – К.: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2003. – 320 с.
- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
- Железова С. В. Прямой посев и вспашка: десятилетний комплексный мониторинг агрофитоценозов в центре точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Сборник научных трудов ГНБС. – 2019. – Т. 148. – С. 60–67.
- Казеев К. Ш., Колесников С. И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. – Ростов-на-Дону. – Издательство Южного федерального университета, 2012. – 260 с.
- Корчагин В. А., Обушенко С. В., Горянин О. И., Джангабаев Б. Ж. Системы обработки почвы в современных ресурсосберегающих технологических комплексах возделывания зерновых культур на черноземных почвах степных районов Среднего Заволжья // Земледелие и растениеводство. – 2015. – С. 546–560.
- Методические рекомендации по оценке токсического действия пестицидов на микрофлору почвы / [Под ред. Ю. В. Круглова]. – Ленинград, 1981. – 43 с.
- Минаева О. М., Акимова Е. Е., Терещенко Н. Н., Зюбанова Т. И. Влияние бактеризации *Aeromonas media* GS4 и *Pseudomonas extremorientalis* PhS1 на проростки пшеницы в различных абиотических условиях // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2019. – № 45. – С. 128–141. DOI: 10.17223/19988591/45/7
- Пуртова Л. Н., Костенков Н. М., Семаль В. А., Комачкова И. В. Эмиссия углекислого газа из почв природных и антропогенных ландшафтов юга Приморья // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1. – С. 585–589.
- Турусов В. И., Чевевердин Ю. И., Титова Т. В., Беспалов В. А., Гармашова Л. В. Изменение и взаимосвязь физических и микробиологических показателей луговых почв юго-востока ЦЧЗ в результате агрогенеза // Проблемы агрохимии и экологии. – 2019. – № 1. – С. 58–63.
- Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 2005. – 252 с.
- Хазиев Ф. Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник академии наук Республики Башкортостан. – 2015. – Т. 20, № 2 (78). – С. 14–24
- Якушев А. В., Кузнецова И. Н., Благодатская Е. В., Благодатский С. А. Зависимость активности полифенолоксидаз и полифенолоксидаз в современных и погребенных почвах от температуры // Почвоведение. 2014. – № 5. – С. 590–596.

Awada L., Lindwall C. W., Sonntag B. The development and adoption of conservation tillage systems on the Canadian Prairies // International Soil and Water Conservation Research. – 2014. – Vol. 2, N 1. – P. 47–65.

Dang Ya. P., Page K. L., Dalal R. C., Menzies N. W. No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture: An Overview // In book: No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture, Challenges and Opportunities. – 2020. – P. 3–20. DOI: 10.1007/978-3-030-46409-7_1

Dhawi F., Hess A. Poor-soil rhizosphere enriched with different microbial activities influence the availability of base elements // Open Journal of Ecology. – 2017. – Vol. 7. – P. 495–502. DOI: 10.4236/oje.2017.78033

Hafez M., Rashad M., Popov A. I. The biological correction of agro-photosynthesis of soil plant productivity // Journal of Plant Nutrition. – 2020. DOI:10.1080/01904167.2020.1799008

Kassam A., Friedrich T., Derpsch R. Global spread of conservation agriculture // International Journal of Environmental Studies – 2019. – Vol. 76, N 1. – P. 29–51. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>

Manzanera M. Dealing with water stress and microbial preservation // Environmental Microbiology. – 2020. – P. 1462–2920. DOI: 10.1111/1462-2920.15096

Page K. L., Dang Y. P., Dalal R. C. The Ability of Conservation Agriculture to Conserve Soil Organic Carbon and the Subsequent Impact on Soil Physical, Chemical, and Biological Properties and Yield // Frontiers in Sustainable Food Systems. – 2020. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00031>

Singh D. P., Singh, V., Shukla R., Sahu P., Prabha R., Gupta A., Sarma B. K., Gupta V. K. Stage-dependent concomitant microbial fortification improves soil nutrient status, plant growth, antioxidative defense system and gene expression in rice // Microbiological Research. – 2020. – Vol. 239, N 126538. DOI: 10.1016/j.micres.2020.126538

Smith J. L., Papendick R. I., Bezdick D. F., Lynch J. M. Soil organic matter dynamics and crop residue management // In: Metting F.B. Jr, editor. Soil microbial ecology. New York: Marcel Dekker. – 1993. – P. 65–94. DOI: 10.1080/09064710.2014.896936)

Tonapi V. A., Talwar H. S., Are A. K., Bhat B. V., Reddy Ch. R., Dalton T. J. Sorghum in the 21st Century: Food – Fodder – Feed – Fuel for a Rapidly Changing World (eBook) / Springer. – 2020. – 932 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-8249-3>

Abdurashytova E. R., Melnichuk T. N., Abdurashytov S. F. Evaluation of the biological activity of the rhizosphere *Sorghum bicolor* under the influence of microbial preparations using no-till technology in the Crimean Steppe // Ekosistemy. 2021. Iss. 26. P. 116–123.

In steppe plants regularly lack of moisture and it affects the biochemical functions of their development. The aim of this research was to study the enzymatic activity of the *Sorghum bicolor* (L.) Moench rhizosphere grown by no-till technology under the influence of introduced microorganisms under conditions of moisture deficit. The growing season of *Sorghum bicolor* during the research period (2018–2020) was characterized by high temperature and arid conditions. The lack of precipitation reached 68.5 % in comparison with the average long-term indicators. It was revealed that the influence of the weather conditions of the year and the complex of microbial preparations (CMP) on the changes in the enzymatic activity of the *S. bicolor* rhizosphere was at the level of $p \leq 0.05$. IIBS (integral indicator of biological state) was calculated based on the level of activity of various enzymes in the soil. The value of IIBS with CMP is close to 80 %. It shows that no-till farming using CMP contributes to physiological stability of the rhizosphere. At the same time, the IBPS annually decreased by 61.1–92.8 % in the control variant without pre-sowing treatment of seeds with CMP, which indicates a slowdown of biological processes. The results of the studies proved that the adaptation of sorghum plants to the effects of abiotic environmental conditions is carried out by regulating the enzymatic activity of the rhizosphere by introducing microorganisms. Consequently, the use of microbial preparations is advisable for the cultivation of *S. bicolor* by no-till technology in steppe zone of Crimea.

Key words: *Sorghum bicolor*, rhizosphere, no-till, biological products, enzymatic activity, integral indicator of biological state, steppe zone.

Поступила в редакцию 16.03.21

Принята к печати 30.04.21