

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1293

УДК 579.2:633.174:631.8



Научная статья

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ ПОД *SORGHUM X DRUMMONDII* (STEUD.) MILLSP. & CHASE ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

*Н.Н. Шулико, А.Ю. Тимохин,
Е.В. Тукмачева, В.С. Бойко*

В настоящем исследовании (2020-2022) изучали воздействие минеральных удобрений на активность микробного пула и энзиматическую активность лугово-черноземной почвы под посевом сорго-суданкового гибрида (*Sorghum x drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase), а также продуктивность культуры. Эксперимент проводили в длительном стационарном опыте лаборатории полевого кормопроизводства Омского аграрного научного центра. Показано, что в результате систематического применения минеральных удобрений биологическое состояние лугово-черноземной почвы остается благоприятным по ряду микробиологических показателей, также отмечено повышение урожайности культуры от изучаемых агроприемов. Максимальную численность популяции микроорганизмов наблюдали при комплексном внесении удобрений, увеличение по отношению к неудобренному варианту составило 39%. Количество сапротрофных бактерий возросло до $39,1 \times 10^6$ КОЕ/г почвы ($30,0 \times 10^6$ КОЕ/г на контроле), амилотических микроорганизмов, в т.ч. актиномицетов – до $30,4 \times 10^6$ КОЕ/г ($19,8 \times 10^6$ КОЕ/г на контроле), целлюлозоразрушающих – до $97,0 \times 10^3$ КОЕ/г ($66,6 \times 10^3$ КОЕ/г на контроле). Установлено, что микробиологические процессы в почве протекали более интенсивно на удобренном ($N_{60}P_{60}$) фоне, увеличение коэффициента Пм составило 15% к контролю. Определение энзиматической активности лугово-черноземной почвы в зависимости от применения изучаемого агроприема выявило усиление ферментативных процессов образования инвертазы и уреазы (до 6%), ингибирование каталазы (снижение до 34%) в результате подкисления почвы анионами минеральных удобрений. Улучшение питательного режима почвы за счет комплексного применения минеральных удобрений обеспечивало

сбор 22,7 т/га биомассы, 6,32 т/га кормовых единиц, 0,75 т/га переваримого протеина, 69,9 ГДж/га обменной энергии сорго-суданкового гибрида.

Ключевые слова: сорго-суданковый гибрид; минеральные удобрения; почвенный микробоценоз; ферментативная активность; урожайность; переваримый протеин; обменная энергия

Для цитирования. Шулико Н.Н., Тимохин А.Ю., Тукмачева Е.В., Бойко В.С. Оценка биологической активности почвы под *Sorghum x drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase при применении минеральных удобрений // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 243-261. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1293

Original article

A SSESSMENT OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF THE SOIL UNDER *SORGHUM X DRUMMONDII* (STEUD.) MILLSP. & CHASE WHEN APPLYING MINERAL FERTILIZERS

N.N. Shuliko, A. Yu. Timokhin,
E.V. Tukmacheva, V.S. Boyko

*In this study (2020-2022), the effect of mineral fertilizers on the activity of the microbial pool and the enzymatic activity of meadow-chernozem soil under the sowing of sorghum-sudank hybrid (*Sorghum x drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase), as well as the productivity of the culture. The experiment was carried out in a long-term stationary experiment of the laboratory of field feed production of the Omsk Agrarian Scientific Center. The highest population of microorganisms was observed with complex fertilization, an increase in relation to the non-maneuverable variant was 39%. The number of saprotrophic bacteria increased to $39,1 \times 10^6$ CFU/g of soil ($30,0 \times 10^6$ CFU/g at the control), amylolytic microorganisms, including actinomycetes – up to $30,4 \times 10^6$ CFU/g ($19,8 \times 10^6$ CFU/g at the control), cellulose-destroying - up to $97,0 \times 10^3$ CFU/g ($66,6 \times 10^3$ CFU/g under control). It was found that microbiological processes in the soil proceeded more intensively on a fertilized ($N_{60}P_{60}$) background, the increase in the Pm coefficient was 15% compared to the control. The determination of the enzymatic activity of meadow-chernozem soil, depending on the application of the studied agricultural method, revealed an increase in the enzymatic processes of invertase and urease formation (up to 6%), inhibition of catalase (decrease to 34%)*

as a result of acidification of the soil by anions of mineral fertilizers. The improvement of the nutrient regime of the soil due to the integrated use of mineral fertilizers ensured the collection of 22,67 t/ha of green mass, 6,32 t/ha of feed units, 0,75 t/ha of digestible protein, 69,87 gj/ha of metabolic energy.

Keywords: *sorghum-sudank hybrid; mineral fertilizers; soil microbiocenosis; enzymatic activity; yield; digestible protein; metabolic energy*

For citation. *Shuliko N.N., Timokhin A.Yu., Tukmacheva E.V., Boyko V.S. Assessment of the Biological Activity of the Soil Under Sorghum x drummondii (Steud.) Millsp. & Chase when Applying Mineral Fertilizers. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 243-261. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1293*

Введение

С появлением высокоурожайных сортов и гибридов сорговых культур площади их возделывания значительно возросли. Интенсивный вынос питательных веществ из почвы высокоурожайными сортами и гибридами обуславливает необходимость изучения устойчивости современных систем интенсивного земледелия, основанных на применении умеренных доз удобрений и возделывании высокопродуктивных культур [6].

Сохранение уровня плодородия почвы является необходимым условием для обеспечения высокой продуктивности и устойчивости агроландшафтов [21]. Почва содержит динамичную популяцию микроорганизмов, играющих важную роль в разложении органического вещества и трансформации питательных веществ. Микробная биомасса, представляющая собой общую массу бактерий, грибов, актиномицетов, водорослей и простейших, присутствующих в почве, служит временным поглотителем питательных веществ, включая азот. Доступность его растениям, в результате трансформации в почве, в основном зависит от популяции микроорганизмов, на которую влияет внесение удобрений. На микробную популяцию приходится всего 1–3% органического углерода почвы, но через нее проходит весь органический материал, попадающий в почву [19].

Внесение удобрений – единственный способ повысить эффективное плодородие почвы. Часть питательных веществ усваивается микроорганизмами и включается в микробную биомассу. Микроорганизмы регулируют поступление питательных веществ в почву, усваивая их и пополняя почвенную биомассу [22].

Микробиологические (в том числе биохимические) показатели состояния плодородия почвы в более короткие сроки реагируют на смещение

её равновесного состояния, чем, например, физические и химические. В этой связи, активность почвенных энзимов является биологическим индикатором почвенного плодородия. Активность ферментов также зависит от агрономических методов, таких как применение удобрений, пестицидов, возделываемых культур [23; 24]. Поскольку все биохимические преобразования в почве зависят от ферментов или связаны с ними, изучение их активности даёт представление о биохимических процессах, а также может отражать различия в динамике развития микроорганизмов и их популяции.

Таким образом, одним из наиболее существенных показателей биологической активности почвы является её энзиматическая активность, изучение которой может дать объективное представление о процессах, протекающих в почве.

Цель исследований – установить изменение микробиологических и биохимических свойств почвы стационарного опыта при длительном агрогенном воздействии, определить урожайность сорго-суданкового гибрида в условиях Омского Прииртышья.

Материалы и методы

Исследования осуществляли на базе стационарного опыта ФГБНУ «Омский АНЦ» (Омская область, Омский район) в условиях лесостепи Омского Прииртышья в 2020–2022 гг.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: фосфорное удобрение (фактор А) – без удобрений (P_0), основное (P_{60}); азотное удобрение (фактор В) – без удобрений (N_0), основное (N_{30}), основное (N_{60}); фоны с различной обеспеченностью фосфором (по Чирикову) (фактор С): 0 – средняя (≤ 100 мг/кг), 1 – повышенная (100–150 мг/кг). Данная система позволяет смоделировать различные условия азотно-фосфорного питания, по сравнению с контролем (без удобрений). Биологическая активность почвы определялась в наиболее контрастных вариантах опыта (контроль и $N_{60}P_{60}$), продуктивность – в соответствии со схемой трехфакторного опыта. Для создания фона удобренности $N_{60}P_{60}$ использовали селитру аммиачную (марка: Б, производитель КАО «Азот», Россия, д.в. N – 34,4%) и аммофос (производитель Балаковский филиал АО «Апатит», Россия, д.в. P – 52,0%, N – 12,0%). Азотные и фосфорные удобрения вносятся в соответствующих вариантах до посева сеялкой СЗ-3,6. Размещение делянок систематическое. Площадь экспериментальных делянок 360 м² (18х20). Повторность – трёхкратная. Высевали сорго-суданковый гибрид – ССГ (*Sorghum x drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase) сорт *Навигатор* (оригинатор ФГБНУ «Северо-Кав-

казский ФНАЦ») [11]. Почва участка – лугово-черноземная, тяжелосуглинистая, среднemocная, среднecумная. Исходная обеспеченность почвы подвижным фосфором средняя и калием высокая (по Чирикову), содержание нитратного азота преимущественно низкое [1].

Способ посева в опытах – рядовой (междурядья – 15 см), норма высева – 1,0 млн. всхожих зерен на га, глубина посева – 5 см. Посев проводили сеялкой СЗП–3,6.

Пробы почвы для микробиологических и биохимических исследований отбирали в стерильные пергаментные пакеты 3 раза в течение вегетации растений сорго-суданкового гибрида (кущение, выметывание, молочная спелость), из 4 уколов буром (смешанный образец) на глубину 0-20 см. Учет численности микроорганизмов проводили на селективных питательных средах согласно общепринятым методикам [12]. Для определения интенсивности и направленности почвенных процессов использовали коэффициент минерализации (КАА/МПА), коэффициент иммобилизации (МПА/КАА), коэффициент трансформации органического вещества Пм ((МПА+КАА)*МПА/КАА)) [7]. Анализ ферментативной активности почвы проводили в воздушно-сухих образцах: инвертазы по Куревичу, уреазы по Гофману, каталазы – газометрически [14].

Статистическую обработку полученных результатов осуществляли в программах Microsoft Excel, Statistica 10.0. Долю влияния факторов оценивали при $p \leq 0,05$ согласно дисперсионному анализу [2]. За факторы при выращивании сорго-суданкового гибрида принимали: год исследования и внесение минеральных удобрений.

Вегетационные периоды 2020 и 2021 гг. были засушливыми, с дефицитом осадков, ГТК за май–август составлял соответственно 0,60 и 0,70. Сложившийся высокий температурный режим и недостаточное увлажнение почвы негативно отразились на численности почвенных микроорганизмов, интенсивности микробиологических процессов. Погодные условия вегетационного периода 2022 г. были недостаточно увлажненными, ГТК=0,76. Дефицит атмосферных осадков на фоне экстремально высоких температур воздуха в течение вегетации ускорил развитие и созревание растений сорго-суданкового гибрида.

Результаты и обсуждение

Минеральные удобрения оказывали положительное воздействие на количество, активность и разнообразие почвенной микрофлоры за счет увеличения продуктивности системы, возврата растительных остатков и

содержания органического вещества в почве. Так, в лугово-черноземной почве под посевом сорго-суданкового гибрида сапротрофные бактерии, разлагающие органические азотсодержащие соединения и амилолитические микроорганизмы, потребляющие азот в минеральной форме, имели схожую тенденцию в развитии при применении удобрений, увеличение этих групп на фоне ($N_{60}P_{60}$) по отношению к контролю составляло 30 и 54% соответственно. Вариация численности аммонифицирующих бактерий в годы исследований была незначительной (коэффициент вариации, $V\%$ составляет 16–20%) (табл. 1).

Таблица 1.

Влияние длительного применения удобрений на количество микроорганизмов в лугово-черноземной почве под посевом ССГ, КОЕ/г, 2020–2022 гг. (n=9)

Вариант	Сапротрофные бактерии, 10^6		Амилолитические микроорганизмы, 10^6		Целлюлозоразрушающие, 10^3		Микромицеты, 10^3		Общее (условно) кол-во, 10^6		МПА/КАА	КАА/МПА	Пм
	М±m*	V,**%	М±m	V,%	М±m	V,%	М±m	V, %	М±m	V,%			
Контроль	30,0±2,0	16	19,8±2,6	32	66,6±3,8	14	67,0±14,0	54	49,9±1,8	3	1,52	0,66	84,9
$N_{60}P_{60}$	39,1±3,3	20	30,4±3,2	25	97,0±11,4	28	64,0±12,0	56	69,6±1,7	5	1,29	0,78	97,8

Примечание: *М – среднее значение, m – ошибка средней; **V – коэффициент вариации показателя.

Исследованиями китайских коллег, проведенными на экспериментальной станции Шэньян, северо-восточный Китая показано, что длительное внесение минеральных удобрений не оказывает существенного влияния на микробиологическую активность почвы [17]. Обобщение значительного материала данных американскими исследователями выявило отрицательное воздействие минеральных удобрений на рост микробного сообщества, что объясняется их подкисляющим эффектом и дефицитом доступных источников углерода после первоначального повышения минерализационной деятельности [20].

В наших исследованиях, при возделывании ССГ внесение азотно-фосфорных удобрений ($N_{60}P_{60}$) стимулировало рост численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов на 46% к контролю, однако отмечена тенденция снижения количества микромицетов, также осуществляющих деструкцию органических веществ [5; 9], на 5%, подобное может быть связано с совокупным влиянием различных экологических факторов.

Суммарное (условно) количество определяемых эколого-трофических групп микроорганизмов существенно возросло, на 39%, под воздействием минеральных удобрений. Увеличение общей численности почвенных микроорганизмов происходило в основном за счет роста количества сапротрофных бактерий и бактерий, усваивающих минеральный азот (табл. 1).

Численность бактерий, продуцирующих амилазу (КАА), во всех вариантах опыта была ниже числа сапротрофных бактерий (МПА), что свидетельствует о снижении темпов минерализации и активации иммобилизационных процессов в лугово-черноземной почве под сорго-суданковым гибридом. В целом значительная численность сапротрофной и амилотической микрофлоры (МПА+КАА) может свидетельствовать о достаточно высоком уровне плодородия почвы.

Степень микробиологического синтеза в органическое вещество почвы (Пм) на удобренном варианте возросла на 15% к контролю без удобрений. Увеличение коэффициента трансформации органического вещества свидетельствует о том, что микробиологические процессы в почве идут более интенсивно.

Распад и минерализация разного рода органических веществ, поступающих в почву, носят ферментативный характер, т.е. вещества, недоступные для использования корневыми системами высших растений, переводятся в доступное состояние с помощью ферментов. Почвенное плодородие связано с ферментативной активностью почвенного населения и каталитической активностью самой почвы [8; 16].

Активность фермента уреазы связана с гидролитическим расщеплением мочевины до аммиака и диоксида углерода и выше у более плодородных почв. Установлено превалирующее влияние на фермент условий года (97,84%), влияние минеральных удобрений было минимальным (0,97%). Данная тенденция вполне объяснима, так как годы проведения исследований характеризовались засушливостью, а ферменты – продукты метаболизма почвенного биоценоза, преимущественно микробного происхождения, активность которого напрямую зависит от метеоусловий периода вегетации [15].

Первые два года полевых экспериментов показали, что внесение минеральных удобрений способствовало незначительному усилению активности фермента уреазы – на 4 и 6% соответственно в сравнении с контролем (табл. 2).

Биологическая активность почвы обусловлена не только живущими данный момент микроорганизмами, но и ферментами отмерших микроорганизмов, что подтверждает способность почвы адсорбировать инвер-

тазу. Активность почвенной инвертазы, по Гофману, находится в прямой зависимости от содержания в почве гумуса, глинистых частиц, извести и от количества населяющих почву микроорганизмов [18].

Таблица 2.

Активность фермента уреазы в лугово-черноземной почве под посевом сорго-суданкового гибрида при применении минеральных удобрений, 2020–2022 гг.

Вариант	Активность уреазы, мг/100 г почвы			Вклад факторов в активность уреазы, %
	2020	2021	2022	
Контроль	0,727±0,02	0,797±0,11	0,510±0,05	• Удобрения 0,97 • Год 1,19 • Удобрения-год 97,84
N ₆₀ P ₆₀	0,755±0,02	0,847±0,22	0,495±0,03	

Вклад факторов, согласно дисперсионному анализу, показал, что на активность ферментов этого класса в лугово-черноземной почве под посевом сорго-суданкового гибрида наибольшее влияние оказал год проведения исследований (94,28%), минеральные удобрения в меньшей степени (8,36%) (табл. 3). Под воздействием удобрений, установлена тенденция увеличения активности инвертазы в 2020 и 2021 гг. на 2 и 4%, в 2022 г. активность определяемого фермента снижалась на 7% по отношению к контролю.

Таблица 3.

Активность фермента инвертаза в лугово-черноземной почве под посевом сорго при применении минеральных удобрений, 2020–2022 гг.

Вариант	Активность инвертазы, мг. инвертного сахара			Вклад факторов в активность инвертазы, %
	2020	2021	2022	
Контроль	13,6±0,92	18,1±0,93	18,6±2,32	• Удобрения 5,37 • Год 8,36 • Удобрения-год 94,28
N ₆₀ P ₆₀	13,9±0,26	18,9±2,25	17,4±0,97	

Каталаза является двухкомпонентным ферментом, состоящим из белка и соединённой с ним активной группы. Активной простетической группой его служит гем, в котором атом железа соединён с тетрапиррольной кольцевой

структурой. Каталаза входит в состав дыхательных ферментов, участвует в разложении перекиси водорода, тем самым способствуя деятельности микроорганизмов и протеканию процессов разложения органических остатков, переводу их в гумус почвы [8]. Согласно результатам двухфакторного дисперсионного анализа, установлено влияние условий года – 55,49%, в отличие от других ферментов на активность каталазы, фактор минеральных удобрений оказал существенное влияние – 21,49% (табл. 5).

В 2020 и 2022 гг. активность каталазы снижалась под воздействием удобрений на 34 и 6% по отношению к контролю соответственно (табл. 4). Предыдущими исследованиями в стационарных опытах установлено, что подобное связано с длительностью применения удобрений, так как в течение первых ротаций севооборота данной тенденции не наблюдалось [4]. В литературе имеются данные показывающие, что при применении органических и минеральных удобрений снижается активность окислительно-восстановительного фермента каталаза, при этом увеличивается активность энзимов гидролитических ферментов [3; 10]. В условиях 2021 г. существенного варьирования энзиматической активности данного класса в зависимости от изучаемого агроприема не выявлено.

Таблица 4.

Каталазная активность лугово-черноземной почвы под посевом сорго-суданкового гибрида при применении минеральных удобрений, 2020–2022 гг.

Вариант	Активность каталазы, О ₂ (куб. см/мин)			Вклад факторов в активность каталазы, %
	2020	2021	2022	
Контроль	2,15±0,13	1,45±0,05	2,03±0,06	• Удобрения 21,49 • Год 55,49 • Удобрения-год 23,02
N ₆₀ P ₆₀	1,61±0,08	1,53±0,09	1,91±0,23	

Сорговые культуры являются одними из наиболее высокоурожайных и отличаются универсальностью использования: зеленый корм, сено, сенаж, силос. В период исследований урожайность сорго-суданкового гибрида зависела от условий минерального питания, моделируемых в опыте (табл. 5). При оптимизации обеспеченности почвы фосфором, за счет применения фосфорсодержащего удобрения перед посевом, на фоне естественного плодородия (0) отмечалась тенденция увеличения сбора зеленой массы с

16,6 до 17,1 т/га или с 4,56 до 5,16 т/га абсолютно сухого вещества (АСВ), что выше на 13%. Повышенная обеспеченность P_2O_5 (фон 1) нивелировала действие вносимого аммофоса. Последствие фосфорных минеральных удобрений на этом фоне достоверно увеличивало урожайность зеленой массы с 16,8 до 21,5 т/га или с 4,86 до 6,42 т/га АСВ, что выше на 32%.

Таблица 5.

**Влияние применения минеральных удобрений на урожайность
сорго-суданкового гибрида, т/га, 2020–2022 гг.**

Минеральные удобрения, кг д.в./га		Зеленая масса			АСВ		
Фосфор (А)	Азот (В)	Фоны с различной обеспеченностью фосфором (С)					
		0	1	Среднее	0	1	Среднее
0	0	15,5	21,9	18,7	3,94	6,63	5,29
	N ₃₀	16,9	21,8	19,4	4,79	6,63	5,71
	N ₆₀	17,3	22,0	19,6	4,94	6,53	5,74
	Среднее	16,6	21,9	19,2	4,56	6,60	5,58
P ₆₀	0	14,9	20,2	17,5	4,31	6,20	5,25
	N ₃₀	18,7	22,7	20,7	5,58	6,65	6,12
	N ₆₀	17,7	20,7	19,2	5,58	5,86	5,72
	Среднее	17,1	21,2	19,1	5,16	6,24	5,70
Среднее по В	0	15,2	21,0	18,1	4,12	6,42	5,27
	N ₃₀	17,8	22,2	20,0	5,19	6,64	5,92
	N ₆₀	17,5	21,4	19,4	5,26	6,20	5,73
	Среднее	16,8	21,5	19,2	4,86	6,42	5,64
НСР ₀₅ *	A	1,7			0,50		
	B	2,1			0,65		
	C	1,8			0,53		
	ABC	4,3			1,30		

Примечание: * достоверно при уровне значимости 0,05.

Применение азотных удобрений увеличивало сбор зеленой массы с 18,1 до 20,0 т/га, АСВ – с 5,27 до 5,73 т/га или на 9% в среднем по фактору. Комплексное действие изучаемых факторов увеличивало сбор зеленой массы с 15,5-22,7 т/га, сухого вещества – с 3,94 до 6,65 т/га или на 69%.

Низкое качество производимых кормов является одной из причин их перерасхода на единицу продукции животноводства. Зеленая масса сорговых культур хорошо поедается животными и сбалансирована по сахаро-

протеиновому соотношению, по питательности занимает одно из ведущих мест среди однолетних кормовых культур [13]. В период проведения полевого эксперимента сбор кормовых единиц, переваримого протеина и обменной энергии находился в аналогичной зависимости от изучаемых факторов (табл. 6).

Таблица 6.

Влияние применения минеральных удобрений на продуктивность сорго-суданкового гибрида, 2020–2022 гг.

Минеральные удобрения, кг д.в./га		Кормовые единицы, т/га		Переваримый протеин, т/га		ОЭ, ГДж/га	
Фосфор (А)	Азот (В)	Фоны с различной обеспеченностью фосфором (С)					
		0	II	0	II	0	II
0	0	3,74	6,30	0,36	0,51	41,7	70,3
	N ₃₀	4,55	6,30	0,56	0,73	50,3	69,6
	N ₆₀	4,69	6,21	0,58	0,73	51,8	68,6
	Среднее	4,33	6,27	0,50	0,65	47,9	69,5
P ₆₀	0	4,09	5,89	0,50	0,67	45,2	65,1
	N ₃₀	5,31	6,32	0,62	0,75	58,6	69,9
	N ₆₀	5,30	5,57	0,59	0,69	58,6	61,6
	Среднее	4,90	5,93	0,57	0,71	54,1	65,5
Среднее по В	0	3,92	6,10	0,43	0,59	43,5	67,7
	N ₃₀	4,93	6,31	0,59	0,74	54,5	69,7
	N ₆₀	4,99	5,89	0,58	0,71	55,2	65,1
	Среднее	4,61	6,10	0,53	0,68	51,1	67,5

Улучшение питательного режима почвы за счет комплексного применения минеральных удобрений увеличивало продуктивность ССГ до 6,32 т/га кормовых единиц, 0,75 т/га переваримого протеина и до 69,9 ГДж/га обменной энергии.

Корреляционный анализ зависимости урожайности сорго-суданкового гибрида от общей численности микрофлоры по результатам трех лет исследований показал, что между этими показателями наблюдается статистически значимая ($p < 0,05$) положительная ($r = 0,98 \pm 0,12$) связь. Это объясняется тем, что почвенная микрофлора способствует разложению органических веществ до минеральных, круговороту азота, углерода, и других элементов в природе, осуществляет процессы формирования, самоочищения почвы, т.е. участвует в процессах, без которых нормальное

функционирование биоценозов невозможно. Также выявлена связь средней тесноты между урожайностью культуры и активностью фермента инвертазы ($r = 0,54 \pm 0,34$).

Заключение

Проведённые исследования позволили установить параметры изменения микробного ценоза лугово-черноземной почвы под посевом сорго-суданкового гибрида, ее энзиматическую активность, а также продуктивность ССГ при длительном применении удобрений в южной лесостепи Западной Сибири. Максимальное положительное воздействие минеральные удобрения оказали на численность и активность сапротрофных бактерий, амилолитических и целлюлозоразрушающих микроорганизмов, увеличение составило 30, 54, 46% соответственно относительно контроля. Степень микробиологического синтеза в органическое вещество почвы на удобренном варианте возрастала на 15% к контролю. Установлено, что активность гидролитических ферментов – уреазы и инвертазы усиливалась (до 6%) от предпосевного внесения удобрений, однако активность фермента каталазы снижалась до 34% к контролю. Выявлена статистически значимая ($p < 0,05$) положительная ($r = 0,982$) зависимость урожайности сорго-суданкового гибрида от количества микрофлоры в лугово-черноземной почве.

Улучшение питательного режима почвы за счет комплексного применения минеральных удобрений обеспечивает 22,7 т/га зеленой массы, 6,32 т/га кормовых единиц, 0,75 т/га переваримого протеина, 69,9 ГДж/га обменной энергии.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках государственной программы исследований FNUN-2022-0015.

Conflict of interest information. The authors declare no conflict of interest.

Sponsorship information. The work was carried out within the framework of the state research program FNUN-2022-0015.

Список литературы

1. Бойко В.С., Якименко В.Н., Тимохин А.Ю. Изменение калийного состояния почв лесостепи Западной Сибири при длительном сельскохозяйственном использовании // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 11. С. 66–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-11-66-71>

2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
3. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. Москва: МГУ, 2005. 445 с.
4. Земледелие на равнинных ландшафтах и агротехнологии зерновых в Западной Сибири (на примере Омской области): монография / под редакцией д.с.-х.н.: И. Ф. Храмцов, В.Г. Холмов: РАСХН СО, СибНИИСХ. Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2003. 412 с.
5. Зинченко М.К., Стоянова Л.Г. Реакция почвенной микрофлоры серой лесной почвы на длительное применение разных по уровню интенсификации систем удобрений // Достижения науки и техники АПК. 2016. №2. С. 21–23.
6. Капустин С.И., Володин А.Б., Капустин А.С. Гетерозисная селекция гибридов сорго и суданской травы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3 (31). С. 76–84.
7. Коробова Л.Н., Танатова А.В., Ферапонтова С.А., Шинделов А.В. Научно-методические рекомендации по использованию микробиологических показателей для оценки состояния пахотных почв Сибири. Новосибирск: НГАУ, 2013. 38 с.
8. Купревич В.Ф., Щербакова Т.А. Почвенная энзимология. Минск: Наука и Техника, 1966. 275 с.
9. Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. Москва: Медицина для всех, 2005. 196 с.
10. Наими О.И., Безуглова О.С., Лыхман В.А., Дубинина М.Н., Полиенко Е.А. Воздействие пестицидов и гуминового препарата на ферментативную активность чернозема // Земледелие. 2021. Т. 5. С. 26–31. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-5-26-31>
11. Сорта и гибриды сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»: каталог / Кулинцев В.В., Чумакова В.В., Володин А.Б. и др. 12-е изд., доп. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет (Ставрополь), 2022. 203 с.
12. Теплер Е.З., Шильникова В.К. Практикум по микробиологии учебное пособие для вузов / под ред. В.К. Шильниковой. 5-е изд. перераб. и доп. Москва: Дрофа, 2004. 256 с.
13. Технологические аспекты возделывания сорго и сорго-суданкового гибрида / Н. И. Кашеваров, А. А. Полищук, Н. Н. Кашеварова, М.В. Хазов, А.Н. Лебедев // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2014. № 5 (240). С. 49–54.
14. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. Москва: Наука, 2005. 252 с.

15. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. Москва: Наука, 1982. 204 с.
16. Хазиев Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. Т. 20. № 2 (78). С. 14–24.
17. Ge G., Li Z., Fan F., Chu G. Soil biological activity and their seasonal variations in response to long-term application of organic and inorganic fertilizers // Plant Soil, 2010, vol. 326 (1), pp. 31–44. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0186-8>
18. Hofmann Ed. Enzymreaktionen und ihre Bedeutung für die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit // Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 1952, vol. 56 (1-3), pp. 68–72.
19. Ingle S.S., Jadhaio S.D., Kharche V.K., Sonune B.A., Mali D.V. Soil biological properties as influenced by long term manuring and fertilization under sorghum (*Sorghum bicolor*)-wheat (*Triticum aestivum*) sequence in Vertisols // Indian Journal of Agricultural Sciences, 2014, vol. 84 (4), pp. 452–457. <https://doi.org/10.56093/ijas.v84i4.39454>
20. Kallenbach C.M., Grandy A.S. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: a meta-analysis // Agriculture, Ecosystems & Environment, 2011, vol. 144 (1), pp. 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.020>
21. Katkar R.N., Sonune B.A., Kadu P.R. Long-term effect of fertilization on soil chemical and biological characteristics and productivity under sorghum (*Sorghum bicolor*) – wheat (*Triticum aestivum*) system in Vertisol // Indian Journal of Agricultural Sciences, 2011, vol. 81 (8), pp. 734–739.
22. Katyal J.C., Rao N.H., Reddy M.N. Critical aspects of organic matter management in the tropics: the examples of India // Nutrient Cycling in Agroecosystem, 2001, vol. 61 (1–2), pp. 77–88. <https://doi.org/10.1023/A:1013320502810>
23. Riffaldi R., Saviozzi A., Levi-Minzi R., Cardelli R. Biochemical properties of a Mediterranean soil as affected by long-term crop management systems // Soil and Tillage Research, 2002, vol. 67 (1), pp. 109–114. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00044-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00044-2)
24. Roldan A., Salinas-García J.R., Alguacil M.M., Diaz E., Caravaca F. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions // Geoderma, 2005, vol. 129 (3–4), pp. 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.042>

References

1. Bojko V.S., YAkimenko V.N., Timohin A.YU. Izmenenie kalijnogo sostoyaniya pochv lesostepi Zapadnoj Sibiri pri dlitel'nom sel'skohozyajstvennom is-

- pol'zovanii [Changes in the potash state of soils in the forest-steppe of Western Siberia during prolonged agricultural use]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2019, vol. 23, no. 11, pp. 66-71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-11-66-71>
2. Dospexov B.A. *Metodika polevogo opy'ta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1985, 351 p.
 3. Zvyaginets D.G., Bab'eva I.P., Zenova G.M. *Biologiya pochv* [Soil biology]. Moscow: MGU Publ., 2005, 445 p.
 4. *Zemledelie na ravninnykh landshaftakh i agrotekhnologii zernovykh v Zapadnoy Sibiri (na primere Omskoj oblasti): monografiya* [Agriculture on flat landscapes and agricultural technologies of cereals in Western Siberia (on the example of the Omsk region): monograph] / ed. I.F. Hramcov, V.G. Holmov: RASKHN SO, SibNIISKH. Novosibirsk: Sibirskoe otdeleniya RAN Publ., 2003, 412 p.
 5. Zinchenko M.K., Stoyanova L.G. Reakciya pochvennoj mikroflory seroj lesnoj pochvy na dlitel'noe primenenie raznykh po urovnyu intensivizatsii sistem udobrenij [The reaction of the soil microflora of gray forest soil to the long-term use of fertilizer systems with different levels of intensification]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of agriculture], 2016, no. 2, pp. 21-23.
 6. Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S. Geterozisnaya selekciya gibridov sorgo i sudanskoj travy [Heterosis breeding of sorghum and Sudanese grass hybrids]. *Tavrisheskij vestnik agrarnoj nauki* [Tauride Bulletin of Agrarian Science], 2022, no. 3 (31), pp. 76-84.
 7. Korobova L.N., Tanatova A.V., Ferapontova S.A., SHindelov A.V. *Nauchno-metodicheskie rekomendatsii po ispol'zovaniyu mikrobiologicheskikh pokazatelej dlya ocenki sostoyaniya pahotnykh pochv Sibiri* [Scientific and methodological recommendations on the use of microbiological indicators to assess the state of arable soils in Siberia]. Novosibirsk: NGAU Publ., 2013, 38 p.
 8. Kuprevich V.F., SHCHerbakova T.A. *Pochvennaya enzimologiya* [Soil enzymology]. Minsk: Nauka i Tekhnika Publ., 1966, 275 p.
 9. Marfenina O.E. *Antropogennaya ekologiya pochvennykh gribov* [Anthropogenic ecology of soil fungi]. Moskva: Medicina dlya vsekh Publ., 2005, 196 p.
 10. Naimi O.I., Bezuglova O.S., Lyhman V.A., Dubinina M.N., Polienko E.A. Vozdejstvie pesticidov i guminovogo preparata na fermentativnyuyu aktivnost' chernozema [The effect of pesticides and humic preparation on the enzymatic activity of chernozem]. *Zemledelie* [Agriculture], 2021, vol. 5, pp. 26-31. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-5-26-31>

11. *Sorta i gibridy sel'skhozyajstvennyh kul'tur selekcii FGBNU «Severo-Kavkazskij FNAC»: katalog* [Varieties and hybrids of agricultural crops selected by the North Caucasian Federal State Budgetary Educational Institution: catalog] / V.V. Kulincev, V.V. CHumakova, A.B. Volodin et al. Stavropol: Severo-Kavkazskij federal'nyj universitet (Stavropol') Publ., 2022, 203 p.
12. Tepper E.Z., Shilnikova V.K. *Praktikum po mikrobiologii uchebnoe posobie dlya vuzov* [Microbiology Workshop textbook for universities] / ed. V.K. Shilnikova. Moscow: Drofa Publ., 2004, 256 p.
13. Tekhnologicheskie aspekty vozdel'yvaniya sorgo i sorgo-sudankovogo gibrida [Technological aspects of the cultivation of sorghum and sorghum-Sudanese hybrid] / N. I. Kashevarov, A. A. Polishchuk, N. N. Kashevarova, M.V. Hazov, A.N. Lebedev. *Sibirskij vestnik sel'skhozyajstvennoj nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science], 2014. no. 5 (240), pp. 49-54.
14. Haziev F.H. *Metody pochvennoj enzimologii* [Methods of soil enzymology]. Moscow: Nauka Publ., 2005, 252 p.
15. Haziev F.H. *Sistemno-ekologicheskij analiz fermentativnoj aktivnosti pochv* [System-ecological analysis of soil enzymatic activity]. Moscow: Nauka Publ., 1982. 204 p.
16. Haziev F.H. Funkcional'naya rol' fermentov v pochvennyh processah [System-ecological analysis of soil enzymatic activity]. *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan* [Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan], 2015, vol. 20, no. 2 (78), pp. 14-24.
17. Ge G., Li Z., Fan F., Chu G. Soil biological activity and their seasonal variations in response to long-term application of organic and inorganic fertilizers. *Plant Soil*, 2010, vol. 326 (1), pp. 31-44. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0186-8>
18. Hofmann Ed. Enzymreaktionen und ihre Bedeutung fur die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit. *Zeitschrift für Pflanzenernahrung, Dungung, Bodenkunde*, 1952, vol. 56 (1-3), pp. 68-72.
19. Ingle S.S., Jadhao S.D., Kharche V.K., Sonune B.A., Mali D.V. Soil biological properties as influenced by long term manuring and fertilization under sorghum (*Sorghum bicolor*)-wheat (*Triticum aestivum*) sequence in Vertisols. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2014, vol. 84 (4), pp. 452-457. <https://doi.org/10.56093/ijas.v84i4.39454>
20. Kallenbach C.M., Grandy A.S. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: a meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2011, vol. 144 (1), pp. 241-252. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.020>
21. Katkar R.N., Sonune B.A., Kadu P.R. Long-term effect of fertilization on soil chemical and biological characteristics and productivity under sorghum (Sor-

- ghum bicolor) – wheat (*Triticum aestivum*) system in Vertisol. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2011, vol. 81 (8), pp. 734-739.
22. Katyal J.C., Rao N.H., Reddy M.N. Critical aspects of organic matter management in the tropics: the examples of India. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 2001, vol. 61 (1-2), pp. 77-88. <https://doi.org/10.1023/A:1013320502810>
23. Riffaldi R., Saviozzi A., Levi-Minzi R., Cardelli R. Biochemical properties of a Mediterranean soil as affected by long-term crop management systems. *Soil and Tillage Research*, 2002, vol. 67 (1), pp. 109-114. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00044-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00044-2)
24. Roldan A., Salinas-García J.R., Alguacil M.M., Diaz E., Caravaca F. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. *Geoderma*, 2005, vol. 129 (3-4), pp. 178-185. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.042>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Шулико Наталья Николаевна, к.с.-х.н., заведующая лабораторией микробиологии

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»

пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
shuliko@anc55.ru

Тимохин Артем Юрьевич, к.с.-х.н., заведующий лабораторией полевого кормопроизводства

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»

пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
timokhin@anc55.ru

Тукмачева Елена Васильевна, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории микробиологии

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
tukmacheva@anc55.ru*

Бойко Василий Сергеевич, д.с.-х.н., главный научный сотрудник лаборатории полевого кормопроизводства
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
boiko@anc55.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalya N. Shuliko, Cand. Sci. (Agric.), Head of Laboratory of Microbiology
*Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
shuliko@anc55.ru
SPIN-code: 7601-1991
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5641-434X>
ResearcherID: ABF-6522-2021*

Artem Yu. Timokhin, Cand. Sci. (Agric.), Head of Laboratory of Field Feed Production
*Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
timokhin@anc55.ru
SPIN-code: 5162-2346
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5120-4068>
ResearcherID: JPL-4190-2023
Scopus Author ID: 57213195613*

Elena V. Tukmacheva, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of Laboratory of Microbiology
*Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
tukmacheva@anc55.ru
SPIN-code: 1881-1679
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1312-3881>
ResearcherID: AAD-9301-2021*

Vasily S. Boyko, Doctor Sci. (Agric.), Chief Researcher of Laboratory of Field
Feed Production

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

boiko@anc55.ru

SPIN-code: 2555-4539

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4871-231X>

Поступила 02.02.2024

После рецензирования 10.03.2024

Принята 20.03.2024

Received 02.02.2024

Revised 10.03.2024

Accepted 20.03.2024