

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПОЧВЕННЫЙ МИКРОБИОЦЕНОЗ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СОРГОВЫХ КУЛЬТУР

В. С. Бойко, Н. Н. Шулико, А. Ю. Тимохин

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр»
644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26

E-mail: timokhin@anc55.ru; shuliko@anc55.ru; boiko@anc55.ru

Поступила в редакцию 10.02.2023, принята к печати 07.03.2023

Исследования проводились в 2019–2021 гг. в восьмипольном севообороте на базе стационарного опыта лаборатории полевого кормопроизводства ФГБНУ «Омский АНЦ» (Омская область) на посевах сорго сахарного (*Sorghum saccharatum*). Установлено положительное влияние средств интенсификации на активность основных физиологических групп микробного ценоза. Применение минеральных удобрений способствовало росту численности аммонифицирующих бактерий, амилалитических и целлюлозоразрушающих микроорганизмов на 39, 52 и 46% соответственно по отношению к контрольному варианту. Судя по коэффициенту трансформации органического вещества Пм (коэффициент потенциально отражает интенсивность накопления гумусовых веществ в почве), под воздействием удобрений в лугово-черноземной почве происходило усиление процессов гумусонакопления. Потенциальная способность почвы к нитратонакоплению зависела от погодных условий и применяемого агроприема, усиливаясь в оптимальные по тепло- и влагообеспеченности периоды на интенсивном фоне, что в конечном итоге положительно повлияло на продуктивность возделываемой культуры. Применение невысоких доз азотных и фосфорных минеральных удобрений на фоне повышенного содержания подвижного фосфора увеличивало сбор зеленой массы на 73% (до 24,58 т га⁻¹), кормовых единиц – до 6,94 т га⁻¹, переваримого протеина – до 0,63 т га⁻¹ и обменной энергии – до 76,93 ГДж га⁻¹.

Ключевые слова: сорго, минеральные удобрения, почвенный микробиоценоз, нитратный азот, потенциальная способность почвы к нитратонакоплению, урожайность, переваримый протеин.

ASSESSMENT OF MINERAL FERTILIZERS EFFECT ON SOIL MICROBIOCENOSIS AND PRODUCTIVITY OF SORGHUM CROPS

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

Federal State Budgetary Scientific Institution «Omsk Agrarian Scientific Center»
26, Koroleva pr., Omsk, 644012

E-mail: timokhin@anc55.ru; shuliko@anc55.ru; boiko@anc55.ru

The study was carried out in 2019–2021 in an eight-field crop rotation based on the stationary experience of the Omsk Agrarian Scientific Center on sugar sorghum (*Sorghum saccharatum*). A positive effect of intensification means on the activity of the main physiological groups of microbial cenosis has been recorded. The use of mineral fertilizers contributed to an increase in the number of ammonifying bacteria, amylolytic and cellulose-destroying microorganisms by 39, 52 and 46%, respectively, compared to the control treatment. Judging by the coefficient of organic matter transformation (the coefficient potentially reflects the intensity of humic substances accumulation in the soil), the processes of humus accumulation was more intensive in the meadow chernozem soil under the influence of fertilizers. The potential ability of the soil to accumulate nitrate depended on the weather conditions and the applied agricultural practices, increasing in the conditions of optimal heat and moisture supply particularly in the treatments with intensive cultivation, which ultimately had a positive effect on the productivity of the cultivated crop. The use of low rates of nitrogen and phosphorus mineral fertilizers on the soil that contained increased content of mobile phosphorus resulted in an increase of green mass by 73% (up to 24.58 t ha⁻¹), feed units – up to 6.94 t ha⁻¹, digestible protein – up to 0.63 t ha⁻¹ and exchange energy – up to 76.93 GJ ha⁻¹.

Keywords: sorghum, mineral fertilizers, soil microbiocenosis, nitrate nitrogen, nitrate accumulation, productivity, digestible protein.

ВВЕДЕНИЕ

Сорговые культуры являются одними из ведущих в мировом сельскохозяйственном производстве (Капустин и др., 2022). При этом ареал их возделывания имеет устойчивую тенденцию к расширению вследствие высокой и стабильной продуктивности, эффективного использования инсоляции и фотосинтетических ресурсов, значительного фитомелиоративного эффекта и

засухоустойчивости (Бойко и др., 2022). Сорго можно выращивать на корм для сельскохозяйственных животных, а также с целью промышленного применения зерна для переработки в пищевой крахмал, напитки и этанол (Васькина и др., 2022; Hamidi et al., 2023).

Несмотря на очевидные преимущества, потенциальные достоинства сорговых используются недостаточно (Кибальник и др., 2021), что касается не только площадей возделывания, но и урожайности,

которая зачастую остается невысокой. Это происходит по разным причинам: недооценка культуры, недостаточные знания в области ее биологии и технологии возделывания, не всегда правильно подобранный сортовой состав (Шукис и др., 2022).

Сорговые культуры эффективно используют ресурсы влаги и обладают высокой отзывчивостью на улучшение питательного режима. Также отмечены оптимизация функционирования микробиоты в ризосфере сорго и повышение адаптационного потенциала растений к неблагоприятным условиям выращивания за счет применения удобрений (Кизинек и др., 2018; Шкодина, 2021).

В настоящее время существует необходимость изучения роли биологических агентов в поддержании здоровья и продуктивности растений, а также устойчивости агроценозов (Shuliko et al., 2022). Исследование структуры эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов, которые являются одним из диагностических показателей состояния микробоценоза, необходимо для определения баланса процессов минерализации-синтеза органических соединений (Хамова и др., 2018, 2019; Абдурашитова и др., 2022).

В связи с этим цель исследований заключалась в том, чтобы установить влияние минеральных удобрений на агрохимические и биологические свойства лугово-черноземной почвы, а также продуктивность сорговых культур.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2019–2021 гг. в восьмипольном севообороте на базе стационарного

полевого опыта лаборатории полевого кормопроизводства ФГБНУ «Омский АНЦ» (Омская область, Омский район). Опыты включены в «Реестр длительных опытов с удобрениями Российской Федерации».

Почва опытного поля лугово-черноземная, среднегумусовая, тяжелосуглинистая, $pH_{вод} = 7,2$, плотность пахотного слоя – $1,07–1,14 \text{ г см}^{-3}$. Содержание фосфора в 0–0,2 м слое в варианте без применения удобрений (контроль) – среднее (менее 100 мг кг^{-1} по Чирикову), обеспеченность обменным калием – очень высокая (более 180 мг кг^{-1} почвы) независимо от агрофона (Бойко и др., 2019).

Объектом исследований являлась реакция продуктивности сорговой культуры и физиологической структуры микробоценоза лугово-черноземной почвы на длительное внесение разных минеральных удобрений.

Длительный полевой опыт (заложен в 1978 г.) включает в себя три следующих фактора: допосевное внесение минеральных удобрений – азотных (фактор А) и фосфорсодержащих (фактор В), а также фоны с различной обеспеченностью подвижным фосфором (фактор С) (табл. 1). Разная обеспеченность фосфором сложилась к периоду проведения эксперимента за счет его различного баланса в соответствующих вариантах. Эксперимент реализован путем наложения вариантов с допосевным внесением минеральных удобрений поперек фонов со средней и повышенной обеспеченностью подвижным фосфором. Каждый опытный вариант представлен деланкой площадью 360 м^2 в трехкратной повторности.

Таблица 1. Схема трехфакторного полевого опыта

Фактор А	Фактор В	Фактор С
минеральные удобрения, кг д.в. га ⁻¹		фоны с различной обеспеченностью фосфором (по Чирикову)
фосфорное удобрение	азотное удобрение	
без удобрений (P ₀)	без удобрений (N ₀)	0 – средняя ($\leq 100 \text{ мг кг}^{-1}$)
	основное (N ₃₀)	
основное (P ₆₀)	основное (N ₆₀)	1 – повышенная (100–150 мг кг ⁻¹)

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

В опытах высевались сорго сахарное сорта Галия (2019, 2020 гг.), а также сорго-суданковый гибрид Навигатор (2021 г.). Оригинатор – ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Сорта относятся к среднеспелой группе, обладают высоким уровнем адаптации к условиям возделывания и холодостойкостью в фазу всходов, а также характеризуются более высоким начальным темпом роста растений (Кулинцев и др., 2022).

Содержание нитратного азота определялось в смешанных образцах (в слое 0–0,2 и 0,2–0,4 м), отобранных весной на фонах со средней и повышенной

обеспеченностью фосфором в вариантах без внесения удобрений, при уборке – на аналогичных фонах в вариантах без внесения удобрений и с внесением N₆₀P₆₀ методом по Грандваль-Ляжу. Для оценки результатов использовались общепринятые в агрохимии шкалы обеспеченности почвы нитратным азотом (Аринушкина, 1970; Гамзиков, 2013).

Учет численности микроорганизмов проводился на твердых питательных средах: общего количества бактерий-сапрофитов, разлагающих органические азотсодержащие соединения в почве, – на мясопептонном агаре (МПА), микроорганизмов, потребляющих азот в минеральной форме (NH₃), – на крахмало-аммиачном агаре (КАА), целлюлозоразлагающих микроорганизмов – на среде Гетчинсона, нитрификаторов – на водном

выщелоченном агаре с добавлением двойной аммонийно-магниево-фосфорной кислоты, почвенных грибов – на подкисленной среде Чапека (Теппер, Шильникова, 2004). Для определения направленности почвенно-микробиологических процессов были рассчитаны коэффициент минерализации КАА/МПА, коэффициент иммобилизации МПА/КАА и коэффициент трансформации органического вещества Пм ((МПА + КАА)*МПА/КАА) (Коробова и др., 2013).

Расчет сбора кормовых единиц, переваримого протеина и обменной энергии осуществлялся на

основе результатов зоотехнического анализа зеленой массы сорговых культур, проведенного в ФГБУ «Центр агрохимической службы «Омский».

Метеорологические условия вегетационного периода 2019 г. в южной лесостепной зоне были контрастными. В первую половину вегетации температура была ниже средних многолетних значений на 0,3–2,5°C при повышенном количестве (167%) осадков в июне. Во второй половине вегетации установилась жаркая (17,9–20,4°C) и сухая (44–74% от нормы) погода, что отрицательно повлияло на налив семян (табл. 2).

Таблица 2. Метеоусловия вегетационного периода в Омском районе Омской области (по данным ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС»)

Месяц	2019 г.				2020 г.				2021 г.			
	T, °C	$\pm T$, °C	W, мм	% от нормы	T, °C	$\pm T$, °C	W, мм	% от нормы	T, °C	$\pm T$, °C	W, мм	% от нормы
Май	9,8	+4,9	22	64	13,0	+4,3	13	31	15,8	+2,8	16	53
Июнь	17,4	–1,8	43	84	18,0	–1,1	45	55	17,9	–0,1	56	101
Июль	16,1	+1,6	13	20	19,4	+1,2	33	65	20,5	+1,1	121	187
Август	19,4	+2,5	53	98	17,0	+2,1	42	56	17,5	+0,5	31	56

Примечание: T, °C – температура воздуха; $\pm T$, °C – отклонение от средней многолетней; W – количество осадков, мм.

В среднем за период май – август гидротермический коэффициент составил 0,99, значительно изменяясь в течение вегетации (0,46–1,84).

Погодные условия 2020 г. были контрастными и в целом засушливыми. Увлажнение почвы к периоду посева было близким к наименьшей влагоемкости. В целом в период вегетации (май–август) температура была выше обычной на 1,8°C, в том числе в мае – на 4,3°C. Наиболее прохладным был июнь (18,0°C). Во второй половине вегетации установилась жаркая и засушливая (ГТК – 0,20–0,89) погода. В целом за вегетационный период количество осадков было значительно меньше нормы (64%).

В мае 2021 г. наблюдались высокие дневные температуры воздуха (на 4,3°C выше нормы) на фоне сильного порывистого ветра. Это привело к существенным потерям влаги из пахотного слоя. В июне отмечался недобор тепла (на 1,1°C) и осадков (на 10,3 мм ниже нормы). В июле также происходили резкие перепады температур воздуха днем и ночью при дефиците осадков за месяц 32,2 мм. В августе погода была теплой с осадками в первой и второй декадах. В условиях высоких температур воздуха и дефицита осадков в течение вегетации происходило ускоренное развитие и созревание сельскохозяйственных культур.

Различие вегетационных периодов в годы исследований по тепло- и влагообеспеченности оказывало неоднозначное влияние на исследуемые

показатели, что позволило дать более объективную оценку изучаемым агроприемам.

Результаты исследований математически обработаны методом дисперсионного анализа (Доспехов, 1985).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Интенсивное сельскохозяйственное использование почвы приводит к значительному ежегодному выносу макроэлементов, что требует компенсации в пределах, обусловленных биологическими потребностями конкретных культур, с учетом экологических и экономических ограничений (Шулико и др., 2022).

В автоморфных почвах Западной Сибири азот нитратов – основной источник доступного для растений азота, дефицит которого в современных агроэкосистемах часто ограничивает урожайность культур (Гамзиков, 2013; Кураченко, Бопп, 2022; Kuśmierz et al., 2023). Весной, перед внесением азотных удобрений в соответствии со схемой опыта и посева сорговых культур, содержание нитратного азота на большинстве фонов было высоким, особенно в пахотном слое почвы (более 22,4–26,7 мг кг^{–1}). После уборки культур содержание нитратного азота существенно снизилось как в варианте с применением минеральных удобрений, так и в контроле независимо от слоя почвы и фона обеспеченности подвижным фосфором (рис. 1).

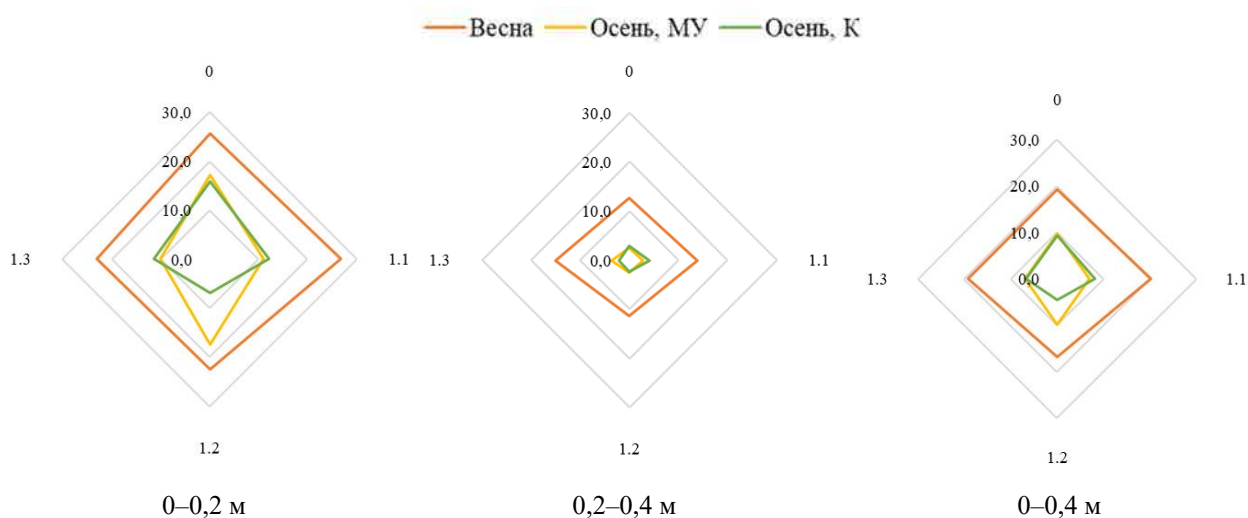


Рис. 1. Содержание $N-NO_3$ в лугово-черноземной почве, $mg\ kg^{-1}$, весна-осень, 2019–2021 гг. (фонь с различной обеспеченностью фосфором: 0 – средняя; 1.1, 1.2, 1.3 – повышенная; МУ – минеральные удобрения ($N_{60}P_{60}$); К – контроль (без минеральных удобрений))

Наблюдения за динамикой нитратного азота в почве показали, что в начале вегетации (июнь) в посевах сорго его содержание в пахотном слое (0–0,2 м) было высоким ($> 20\ mg\ kg^{-1}$) согласно шкале обеспеченности почвы нитратным азотом (Гамзиков, 2013). В течение вегетации произошло снижение количества азота нитратов в почве, в основном за счет выноса культурой сорго. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}$ повысило содержание

элемента в период колошения в три и более раза по отношению к неудобренному варианту. К концу вегетации сорго содержание $N-NO_3$ снизилось до среднего в контрольном варианте, оставаясь высоким в удобренном. В среднем на интенсивном фоне количество азота нитратов было более чем в два раза выше в сравнении с контролем за счет внесения NP -удобрений (доля влияния фактора удобрений – 59%) (рис. 2).

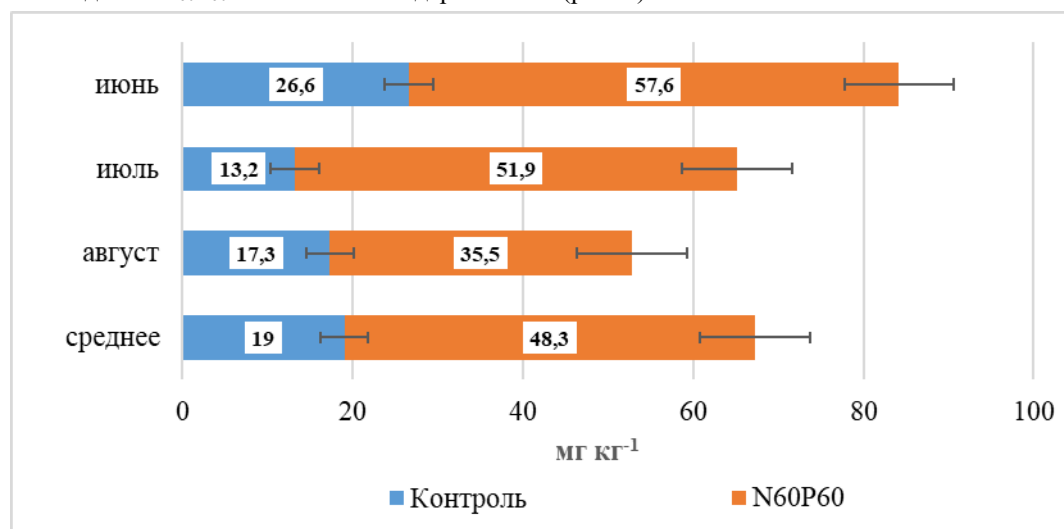


Рис. 2. Количество азота нитратов в лугово-черноземной почве в течение вегетационного периода, слой 0–0,2 м, 2020–2021 гг.

Для характеристики мобилизационных процессов в почве недостаточно определения содержания азота нитратов, необходимо учитывать потенциальную способность почвы к нитратонакоплению. Нитрификационная способность почвы в оптимальных условиях компостирования зависит в основном от количества легкомобилизующих азотсодержащих соединений (Шулико и др., 2022).

Нитрификационная способность почвы на интенсивном фоне была выше по сравнению с

контролем, по всей видимости, за счет усиления минерализационных процессов в почве при внесении удобрений. Наиболее высокой потенциальной способностью почвы к нитратонакоплению была в июне, что связано с установившейся жаркой погодой. К концу вегетации (август) произошло снижение показателя по вариантам опыта, что можно объяснить расходом легкомобилизующих органических соединений на образование нитратов (рис. 3).

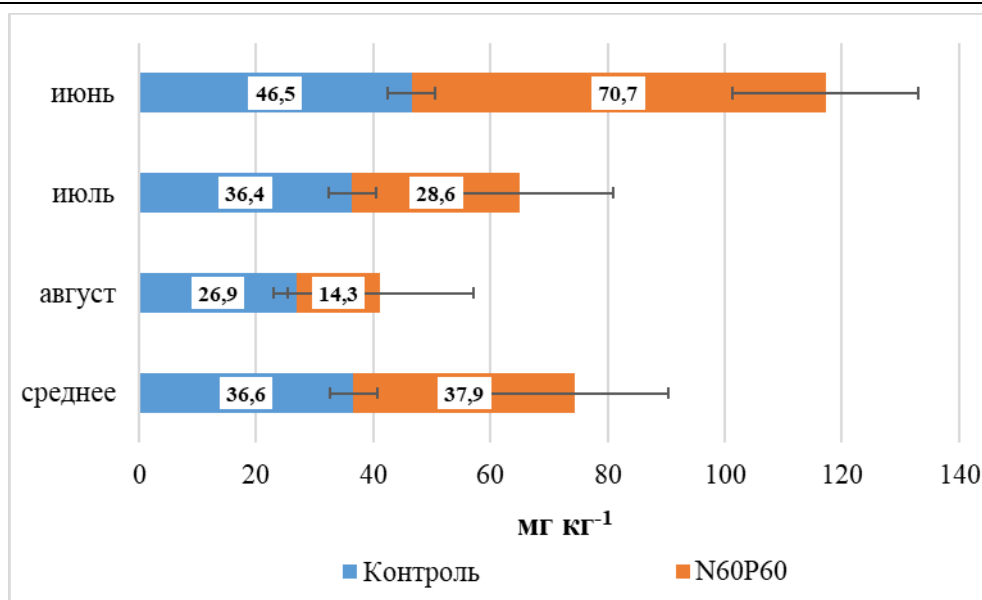


Рис. 3. Нитрификационная способность лугово-черноземной почвы, слой 0–0,2 м, 2020–2021 гг.

Длительное применение минеральных удобрений в расчетных дозах на прибавку урожая способствовало созданию агрофонов, отличающихся по уровню обеспеченности подвижным фосфором, массе свежих органических остатков, поступающих в почву, и содержанию в ней гумуса от неудобренных вариантов. В связи с этим интенсивность мобилизационных биологических процессов в почве определялась в зависимости от сложившегося уровня плодородия.

Применение минеральных удобрений оптимизировало интенсивность протекающих в почве процессов за счет увеличения численности отдельных

эколого-трофических групп микроорганизмов. Численность аммонификаторов на удобренном фоне (N₆₀P₆₀) возросла на 39% в сравнении с контролем. Следует отметить незначительную вариацию численности бактерий, утилизирующих органические соединения азота на МПА, за годы исследований (коэффициент вариации, V %, составил 13–17%). Численность амилалитических микроорганизмов, утилизирующих минеральный азот на КАА, имела сходную с бактериям-сапрофитами тенденцию, достоверно возрастая при внесении удобрений на 52% (табл. 3).

 Таблица 3. Численность микроорганизмов в почве под посевом сорговых культур, КОЕ г⁻¹, 2020–2021 гг.

Вариант	Утилизирующие азот органический на МПА, млн.		Утилизирующие азот минеральный на КАА, млн.		Целлюлозоразрушающие, тыс.		Нитрификаторы, тыс.		Грибы, тыс.		МПА/КАА	КАА/МПА	Пм
	M±m*	V, **%	M±m	V, %	M±m	V, %	M±m	V, %	M±m	V, %			
Контроль	31,8±4,0	17	18,5±5,9	44	72,0±0,8	22	1,16±0,41	49	84,7±59,0	79	1,72	0,58	86,5
N ₆₀ P ₆₀	43,2±4,1	13	28,1±6,8	34	104,8±24,4	32	1,46±0,35	33	71,5±32,0	63	1,54	0,65	109,6

Примечание: *M – среднее значение показателя (n = 6); m – ошибка средней; **V – коэффициент вариации показателя.

Целлюлозоразрушающие микроорганизмы имели наиболее высокую численность в удобренном варианте (на 46 % выше по отношению к контролю), что связано с повышенным содержанием в почве на интенсивном фоне азота нитратов, необходимого для разложения органического вещества (листовой опад, корне-познивные остатки и др.).

Основными деструкторами растительных остатков в почве являются почвенные

микроскопические грибы, обладающие мощными гидролитическими ферментами (Марфенина, 2005). В вариантах опыта с внесением N₆₀P₆₀ наблюдалась тенденция к снижению численности микроскопических грибов. Хотя, как правило, при подкислении почвы численность микромицетов возрастает, однако характер воздействия на них минеральных удобрений во многом определяется совокупным влиянием различных экологических

факторов: влажности и температуры почвы, степени аэрации и др.

Важная роль в оптимизации плодородия почвы принадлежит нитрифицирующим бактериям. Внесение минеральных удобрений (доля фактора – 93%), способствующих улучшению питания как растений, так и микроорганизмов, стимулировало рост численности нитрификаторов в почве на 26% по отношению к контролю (фон без удобрений).

Следует отметить высокий коэффициент вариации при определении численности нитрифицирующих бактерий (33–49%) и почвенных микроскопических грибов (63–79%). Это связано с тем, что в 2021 г. отбор почвенных проб в июне совпал с установившейся засухой и резкими перепадами температуры (недобор тепла в июне составил 1,1°C, осадки ниже нормы на 10,3 мм). Как следствие, получены низкие значения КОЕ г⁻¹ вышеупомянутых микроорганизмов. Известно, что нитрификаторы являются микроорганизмами, чувствительными как к недостатку, так и к избытку влаги в почве, и активно развиваются при благоприятной температуре (Новоселов и др., 2006). Режим влажности также относится к основным экологическим факторам, регулирующим активность почвенных микроскопических грибов.

В годы исследований (2020–2021 гг.) в почве под посевом сорго активно протекали процессы иммобилизации азота микроорганизмами (соотношение МПА/КАА > 1). Применение интенсивной технологии выращивания сорго привело к усилению процессов гумусоаккумуляции в лугово-черноземной почве, коэффициент трансформации органического вещества (Пм) возрос на 23% по отношению к контролю.

Сложившиеся погодные условия вегетационных периодов и режим минерального питания оказывали влияние как на показатели почвенного плодородия, так и на продуктивность культуры сорго.

Применение фосфорсодержащих удобрений (Р₆₀) до посева культуры сорго способствовало достоверному увеличению сбора зеленой массы с 14,96 до 18,12 т га⁻¹, или на 21%, в том числе абсолютно сухого вещества (АСВ) – с 4,28 до 5,21 т га⁻¹, или на 22%, только на фоне 0 при сравнении с вариантом без внесения фосфорсодержащих удобрений. Исходное повышенное содержание фосфора в почве (за счет положительного баланса) оказало достоверное положительное влияние на сбор зеленой массы и сухого вещества (отмечено их увеличение до 22,31 т га⁻¹, или на 35%, и до 6,62 т га⁻¹, или на 39%, соответственно) (табл. 4).

Таблица 4. Урожайность сорговых культур в зависимости от условий минерального питания, т га⁻¹, 2019–2021 гг.

Минеральные удобрения, кг д.в. га ⁻¹		Зеленая масса			АСВ		
фосфор (А)	азот (В)	фоны с различной обеспеченностью фосфором (С)			0	1	среднее
0	0	14,24	20,87	17,55	4,01	6,55	5,28
	N ₃₀	15,55	22,10	18,83	4,50	6,81	5,65
	N ₆₀	15,09	21,25	18,17	4,34	6,18	5,26
	среднее	14,96	21,41	18,18	4,28	6,51	5,40
Р ₆₀	0	17,16	22,85	20,01	4,67	6,91	5,79
	N ₃₀	19,99	24,58	22,29	5,72	7,08	6,40
	N ₆₀	17,20	22,21	19,71	5,25	6,16	5,71
	среднее	18,12	23,21	20,67	5,21	6,72	5,97
Среднее по фону	0	15,70	21,86	18,78	4,34	6,73	5,54
	N ₃₀	17,77	23,34	20,56	5,11	6,95	6,03
	N ₆₀	16,15	21,73	18,94	4,79	6,17	5,48
	среднее	16,54	22,31	19,42	4,75	6,62	5,68
НСР ₀₅ *	А		2,38			0,86	
	В		2,92			1,05	
	С		2,38			0,86	
	ABC		5,84			2,10	

Примечание: * – достоверно при уровне значимости 0,05.

Вследствие высокой обеспеченности почвы нитратным азотом перед посевом культуры применение азотных удобрений (N₆₀) было менее эффективным, отмечалась тенденция к увеличению урожайности зеленой массы с 18,78 до 20,56 т га⁻¹ (или на 10%), сухого вещества – с 5,54 до 6,03 т га⁻¹ (или на 9% в среднем по фактору). Наибольшая урожайность получена при сочетании изучаемых факторов:

24,58 т га⁻¹ зеленой массы и 7,08 т га⁻¹ АСВ, что на 73 и 77% соответственно выше, чем в контроле.

Продуктивность сорговых культур определялась уровнем интенсификации в различных вариантах опыта. Сочетание изучаемых факторов обеспечило выход кормовых единиц до 6,94 т га⁻¹, переваримого протеина – 0,63 т га⁻¹ и обменной энергии – 76,93 ГДж га⁻¹ (табл. 5).

Таблица 5. Продуктивность сорговых культур в зависимости от условий минерального питания, 2019–2021 гг.

Минеральные удобрения, кг д.в. га ⁻¹		Кормовые единицы, т га ⁻¹		Переваримый протеин, т га ⁻¹		ОЭ, ГДж га ⁻¹	
фосфор (А)	азот (В)	фоны с различной обеспеченностью фосфором (С)					
		0	II	0	II	0	II
0	0	3,85	6,29	0,37	0,54	44,52	72,79
	N ₃₀	4,41	6,67	0,40	0,57	48,83	73,94
	N ₆₀	4,25	6,06	0,39	0,55	47,08	67,15
	среднее	4,17	6,34	0,38	0,55	46,81	71,29
P ₆₀	0	4,49	6,63	0,44	0,59	51,93	76,78
	N ₃₀	5,60	6,94	0,51	0,63	62,10	76,93
	N ₆₀	5,15	6,04	0,44	0,57	57,03	66,91
	среднее	5,08	6,54	0,47	0,60	57,02	73,54
Среднее по фону	0	4,17	6,46	0,40	0,56	48,22	74,78
	N ₃₀	5,01	6,81	0,46	0,60	55,46	75,44
	N ₆₀	4,70	6,05	0,41	0,56	52,06	67,03
	среднее	4,62	6,44	0,43	0,57	51,91	72,42

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексные наблюдения позволили дать оценку влияния минеральных удобрений на состояние микробоценоза и другие показатели плодородия лугово-черноземной почвы, а также на продуктивность сорговых культур в южной лесостепи Западной Сибири. Установлено положительное влияние применения средств интенсификации на численность основных физиологических групп микрофлоры. В большей степени увеличилось количество аммонифицирующих бактерий, амилалитических микроорганизмов и целлюлозолитиков – на 39, 52 и 46% соответственно по отношению к контролю. Коэффициент трансформации органического вещества свидетельствует об усилении процессов гумусоаккумуляции под воздействием удобрений. Потенциальная способность почвы к

нитратонакоплению зависит от погодных условий и применяемого агроприема и усиливается в оптимальные по тепло- и влагообеспеченности периоды на интенсивном фоне.

Эффективность применения азотных удобрений снижается в условиях высокой обеспеченности почвы нитратным азотом перед посевом культур. В данном случае продуктивность сорговых культур определяется обеспеченностью подвижным фосфором в пахотном горизонте. При этом допосевное внесение относительно невысоких доз азотных и фосфорных минеральных удобрений на фоне повышенного содержания подвижного фосфора в почве обеспечило увеличение сбора биомассы на 73% (до 24,58 т га⁻¹), кормовых единиц – до 6,94 т га⁻¹, переваримого протеина – до 0,63 т га⁻¹ и обменной энергии – до 76,93 ГДж га⁻¹.

Список литературы

- Абдурашитова Э.Р., Мельничук Т.Н., Абдурашитов С.Ф., Еговцева А.Ю., Турин Е.Н., Гонгало А.А. Адаптивность микробоценоза ризосферы *Sorghum bicolor* под влиянием микробных агентов в условиях чернозема южного // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 2. С. 67–72. DOI: 10.31857/S2500262722020132
- Ариушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 325 с.
- Бойко В.С., Тимохин А.Ю., Володин А.Б., Нижельский Т.Н. Потенциал продуктивности сорго сахарного в южной лесостепи Западной Сибири // Кормопроизводство. 2022. № 4. С. 29–33.
- 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. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-11-66-71
- Васькина Т.И., Дронов А.В., Бельченко С.А., Дьяченко В.В., Сычев С.М. Оптимизация элементов возделывания сорго кормового на юго-западе Центрального региона России // Аграрная наука. 2022. № 9. С. 131–136. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-131-136
- Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: РАСХН, Сиб. отд., 2013. 790 с.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- 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.
- Кибальник О.П., Ефремова И.Г., Бочкарева Ю.В., Прахов А.В., Семин Д.С. Продуктивность сорговых культур в зависимости от агротехнических приемов возделывания в регионах Российской Федерации (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 2. С. 155–166. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.155-166
- Кизинек С.В., Тараненко В.В., Белоусов В.С., Володин А.Б. Реакция сорговых культур в Западном Предкавказье на применение гербицидов Паллас 45 и Стеллар // Сельскохозяйственный журнал. 2018. № 4(11). С. 34–38. DOI: 10.25930/3c38-bh84

- 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.
- Кулинцев В.В., Чумакова В.В., Володини А.Б. и др. Сорты и гибриды сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»: каталог. 12-е изд., доп. Ставрополь, 2022. 203 с.
- Кураченко Н.Л., Бопп В.Л. Режим нитратного азота в черноземе при возделывании многолетних трав // Аграрный научный журнал. 2022. № 9. С. 29–33. DOI: 10.28983/asj.y2022i9pp29-33
- Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Медицина для всех, 2005. 196 с.
- Новоселов С.И., Новоселова Е.С., Завалин А.Л., Гордеева Т.Х. Микробоценоз азотного цикла дерново-подзолистой почвы // Плодородие. 2006. № 6. С. 26–27.
- Теппер Е.З., Шильникова В.К. Практикум по микробиологии: учебное пособие для вузов / Под ред. В.К. Шильниковой. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Дрофа, 2004. 256 с.
- Хамова О.Ф., Бойко В.С., Тимохин А.Ю., Шулико Н.Н. Биологическая активность орошаемой лугово-черноземной почвы и продуктивность сои в зависимости от условий минерального питания в южной лесостепи Западной Сибири // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018. № 4(176). С. 96–100. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-4-176-96-100
- Хамова О.Ф., Бойко В.С., Тимохин А.Ю., Шулико Н.Н., Тукмачева Е.В. Биологическая активность длительно орошаемой лугово-черноземной почвы в условиях интенсивного использования // Вестник ОмГАУ. 2019. № 1(33). С. 53–61.
- Шкодина Е.П. Биологические основы выращивания сорго на Северо-Западе Нечерноземной зоны // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 4. С. 531–541. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.531-541
- Шукис Е.Р., Володин А.Б., Дейнес Н.В. Реализация продуктивного потенциала различными по скороспелости сортами и гибридами сорговых культур в Алтайском крае // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 12(218). С. 31–38. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-218-12-31-38
- Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Тимохин А.Ю., Тукмачева Е.В. Изменение биологических и агрохимических свойств орошаемой лугово-черноземной почвы при длительном применении удобрений // Плодородие. 2022. № 4(127). С. 71–78. DOI 10.25680/S19948603.2022.127.19
- Hamidi N.H., Ahmed O.H., Omar L., Ch'ng H.Y., Johan P.D., Paramisparam P., Musah A.A., Jalloh M.B. Co-Application of Inorganic Fertilizers with Charcoal and Sago Bark Ash to Improve Soil Nitrogen Availability, Uptake, Use Efficiency, and Dry Matter Production of Sorghum Cultivated on Acid Soils // Sustainability. 2023. № 15. pp. 827. DOI: 10.3390/su15010827
- Kuśmierz S., Skowrońska M., Tkaczyk P., Lipiński W., Mielniczuk J. Soil Organic Carbon and Mineral Nitrogen Contents in Soils as Affected by Their pH, Texture and Fertilization // Agronomy. 2023. № 13(1). pp. 267. DOI: 10.3390/agronomy13010267
- Shuliko N.N., Khamova O.F., Timokhin A.Y., Boiko V.S., Tukmacheva E.V., Krempa A. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer // Scientific Reports. 2022. № 12. pp. 14672. DOI: 10.1038/s41598-022-18639-1

References

- Abdurashitova E.R., Mel'nichuk T.N., Abdurashitov S.F., Yegovtseva A.Yu., Turin Ye.N., Gongalo A.A. Adaptivnost' mikrobotsenoza rizosfery Sorghum bicolor pod vliyaniem mikrobnnykh agentov v usloviyakh chernozema yuzhnogo [Adaptability of the microbiocenosis of the Sorghum bicolor rhizosphere under the influence of microbial agents in the conditions of Southern chernozem] // Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka, 2022, no. 2, pp. 67–72. DOI: 10.31857/S2500262722020132
- Arinushkina Ye.V. *Rukovodstvo po khimicheskoy analizu pochv* [Manual of chemical analysis of soils]. M.: MSU, 1970, 325 p.
- Boyko V.S., Timokhin A.Yu., Volodin A.B., Nizhel'skiy T.N. Potentsial produktivnosti sorgo sakharnogo v yuzhnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri [The productivity potential of sugar sorghum in the southern forest-steppe of Western Siberia] // *Kormoproizvodstvo*, 2022, no. 4, pp. 29–33.
- Boyko V.S., Yakimenko V.N., Timokhin A.Yu. Izmeneniye kaliynogo sostoyaniya pochv lesostepi Zapadnoy Sibiri pri dlitel'nom sel'skokhozyaystvennom ispol'zovanii [Changes in the potash state of soils in the forest-steppe of Western Siberia during prolonged agricultural use] // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2019, vol. 23, no. 11, pp. 66–71. DOI 10.18412/1816-0395-2019-11-66-71
- Vas'kina T.I., Dronov A.V., Bel'chenko S.A., D'yachenko V.V., Sychev S.M. Optimizatsiya elementov vzdelyvaniya sorgo kormovogo na yugo-zapade Tsentral'nogo regiona Rossii [Optimization of elements of fodder sorghum cultivation in the South-West of the Central region of Russia] // *Agrarnaya nauka*, 2022, no. 9, pp. 131–136. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-131-136
- Gamzikov G.P. *Agrokimiya azota v agrotsenozakh* [Agrochemistry of nitrogen in agrocenoses]. Novosibirsk: RAAS, Siberian Branch, 2013, 790 p.
- Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of field experiment]. M.: Agropromizdat, 1985, 351 p.
- Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S. Geterozisnaya selektsiya gibridov sorgo i sudanskoy travy [Heterosis breeding of sorghum and Sudan grass hybrids] // *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki*, 2022, no. 3(31), pp. 76–84.

- Kibal'nik O.P., Yefremova I.G., Bochkareva Yu.V., Prakhov A.V., Semin D.S. Produktivnost' sorgovykh kul'tur v zavisimosti ot agrotekhnicheskikh priyemov vozdeleyvaniya v regionakh Rossiyskoy Federatsii (obzor) [Productivity of sorghum crops depending on agrotechnical methods of cultivation in the regions of the Russian Federation (review)] // *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka*, 2021, vol. 22, no. 2, pp. 155–166. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.155-166
- Kizinek S.V., Taranenko V.V., Belousov V.S., Volodin A.B. Reaktsiya sorgovykh kul'tur v Zapadnom Predkavkaz'ye na primeneniye gerbitsidov Pallas 45 i Stellar [Reaction of sorghum crops in the Western Caucasus to the use of Pallas 45 and Stellar herbicides] // *Sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2018, no. 4(11), pp. 34–38. DOI: 10.25930/3c38-bh84
- Korobova L.N., Tanatova A.V., Ferapontova S.A., Shindelov A.V. Nauchno-metodicheskiye rekomendatsii po ispol'zovaniyu mikrobiologicheskikh pokazateley dlya otsenki sostoyaniya pakhotnykh pochv Sibiri [Scientific and methodological recommendations on the use of microbiological indicators to assess the state of arable soils in Siberia]. Novosibirsk: NSAU, 2013, 38 p.
- Kulintsev V.V., Chumakova V.V., Volodini A.B. i dr. Sorta i gibridy sel'skokhozyaystvennykh kul'tur selektsii FGBNU «Severo-Kavkazskiy FNATs» [Varieties and hybrids of agricultural crops selected by the North Caucasian FNAC]. Stavropol', 2022, 203 p.
- Kurachenko N.L., Bopp V.L. Rezhim nitratnogo azota v chernozeme pri vozdeleyvanii mnogoletnikh trav [The mode of nitrate nitrogen in chernozem during the cultivation of perennial grasses] // *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*, 2022, no. 9, pp. 29–33. DOI: 10.28983/asj.y2022i9pp29-33
- Marfenina O.Ye. *Antropogennaya ekologiya pochvennykh gribov* [Anthropogenic ecology of soil fungi]. M.: Meditsina dlya vsekh, 2005, 196 p.
- Novoselov S.I., Novoselova Ye.S., Zavalin A.L., Gordeyeva T.Kh. Mikrobotsenoz azotnogo tsikla dernovo-podzolistoy pochvy [Microbiocenosis of nitrogen cycle of sod-podzolic soil] // *Plodorodiye*, 2006, no. 6, pp. 26–27.
- Tepper Ye.Z., Shil'nikova V.K. *Praktikum po mikrobiologii: uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Microbiology workshop: textbook for universities] / Pod red. V.K. Shil'nikovoy. 5-ye izd., pererab. i dop. M.: Drofa, 2004, 256 p.
- Khamova O.F., Boyko V.S., Timokhin A.Yu., Shuliko N.N. Biologicheskaya aktivnost' oroshaemoy lugovo-chernozemnoy pochvy i produktivnost' soi v zavisimosti ot usloviy mineral'nogo pitaniya v yuzhnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri [Biological activity of irrigated meadow-chernozem soil and soybean productivity depending on the conditions of mineral nutrition in the southern forest-steppe of Western Siberia] // *Maslichnyye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*, 2018, no. 4(176), pp. 96–100. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-4-176-96-100
- Khamova O.F., Boyko V.S., Timokhin A.Yu., Shuliko N.N., Tukmacheva Ye.V. Biologicheskaya aktivnost' dlitel'no oroshaemoy lugovo-chernozemnoy pochvy v usloviyakh intensivnogo ispol'zovaniya [Biological activity of long-term irrigated meadow-chernozem soil in conditions of intensive use] // *Vestnik OmSAU*, 2019, no. 1(33), pp. 53–61.
- Shkodina Ye.P. Biologicheskkiye osnovy vyrashchivaniya sorgo na Severo-Zapade Nechernozemnoy zony [Biological bases of sorghum cultivation in the North-West of the Non-Chernozem zone] // *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 531–541. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.531-541
- Shukis Ye.R., Volodin A.B., Deynes N.V. Realizatsiya produktivnogo potentsiala razlichnymi po skorospelosti sortami i gibridami sorgovykh kul'tur v Altayskom kraye [Realization of the productive potential of various varieties and hybrids of sorghum crops in the Altai Territory] // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, no. 12(218), pp. 31–38. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-218-12-31-38
- Shuliko N.N., Khamova O.F., Timokhin A.Yu., Tukmacheva Ye.V. Izmeneniye biologicheskikh i agrokhimicheskikh svoystv oroshayemoy lugovo-chernozemnoy pochvy pri dlitel'nom primenenii udobreniy [Changes in biological and agrochemical properties of irrigated meadow-chernozem soil during prolonged use of fertilizers] // *Plodorodiye*, 2022, no. 4(127), pp. 71–78. DOI: 10.25680/S19948603.2022.127.19
- Hamidi N.H., Ahmed O.H., Omar L., Ch'ng H.Y., Johan P.D., Paramisparam P., Musah A.A., Jalloh M.B. Co-Application of Inorganic Fertilizers with Charcoal and Sago Bark Ash to Improve Soil Nitrogen Availability, Uptake, Use Efficiency, and Dry Matter Production of Sorghum Cultivated on Acid Soils // *Sustainability*. 2023. № 15. pp. 827. DOI: 10.3390/su15010827
- Kuśmierz S., Skowrońska M., Tkaczyk P., Lipiński W., Mielniczuk J. Soil Organic Carbon and Mineral Nitrogen Contents in Soils as Affected by Their pH, Texture and Fertilization // *Agronomy*. 2023. № 13(1). pp. 267. DOI: 10.3390/agronomy13010267
- Shuliko N.N., Khamova O.F., Timokhin A.Yu., Boiko V.S., Tukmacheva E.V., Krempa A. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer // *Scientific Reports*. 2022. № 12. pp. 14672. DOI: 10.1038/s41598-022-18639-1