



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-31-44

EDN OVNSSET

УДК 631.524.84: 633.17 (470.56)

Научная статья / Research article

Влияние минеральных удобрений, предшественников и почвенно-климатических условий на продуктивность проса в степной зоне Южного Урала

Д.В. Митрофанов 

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий
Российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация
✉ dvm.80@mail.ru

Аннотация. Исследования проведены на черноземах южных в засушливых условиях Оренбургского Предуралья с 2002 по 2021 гг. Приведены результаты изучения влияния агрометеорологических условий вегетационного периода, весенних запасов почвенной влаги и питательных веществ, целлюлозолитической активности микроорганизмов, содержания органического вещества, гумуса и кислотности в почве после внесения минеральных удобрений на повышение продуктивности сельскохозяйственного растения просо (*Panicum miliaceum* L.) сорта Оренбургское 9. В качестве объекта исследований выбраны почва и посевы проса. Применены полевой, термостатно-весовой, ионометрический, Мачигина, аппликационно-весовой, Тюрина, дисперсионный и статистический методы исследования. Полевые опыты заложены в четырехпольном, двупольном севооборотах и бесменно по следующей схеме: 1) посев после твердой пшеницы в последствии черного пара (контроль); 2) посев после мягкой пшеницы в последствии черного пара; 3) посев после мягкой пшеницы в последствии почвозащитного пара; 4) посев после мягкой пшеницы в последствии сидерального пара; 5) посев после твердой пшеницы; 6) бесменный посев проса. Выявлена способность изучаемых факторов повышать продуктивность проса в двупольном севообороте с твердой пшеницей после применения минеральных удобрений. Максимальная прибавка по сравнению с контролем при использовании комплексного удобрения аммофоса с дозой 40 кг/га азота и фосфора ($N_{40}P_{40}$) действующего вещества получена по выходу зерна на 0,45 т; кормовых единиц — 0,44; энергетических — 0,26 и кормопротеиновых — 0,24 т/га. Наилучшее влияние на увеличение продуктивности оказывают июльские осадки — 28,05 %; весенние запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–30 см — 25,96 %, в 0–100 см — 20,86 %; содержание нитратов — 71,80 %, фосфора — 38,05 %, калия — 33,07 %; активность микроорганизмов (разложение целлюлозы) — 62,32 % ($p < 0,05$) по сравнению с контролем. Наибольшее содержание органического вещества — 17,6 и 3,5 % гумуса в почве и нейтральная кислотность ($pH = 7,0$) создают благоприятные условия для выращивания проса после твердой пшеницы. В результате исследования по другим посевам установлено, что

© Митрофанов Д.В., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

рассматриваемые факторы не воздействуют на рост урожайности. Положительные результаты влияния изученных факторов могут быть использованы для повышения продуктивности проса.

Ключевые слова: *Panicum miliaceum* L., севооборот, осадки, продуктивная влага, питательные вещества, микроорганизмы, органическое вещество, гумус, кислотность почвы

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

Финансирование. Благодарности. Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2022–2024 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0526–2022–0014).

История статьи: поступила в редакцию 23 мая 2022 г.; принята к публикации 20 февраля 2023 г.

Для цитирования: Митрофанов Д.В. Влияние минеральных удобрений, предшественников и почвенно-климатических условий на продуктивность проса в степной зоне Южного Урала // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 31–44. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-31-44

Effect of mineral fertilizers, forecrops and soil-climatic conditions on millet productivity in steppe zone of the Southern Urals

Dmitry V. Mitrofanov 

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation
✉ dvm.80@mail.ru

Abstract. The research was carried out on southern chernozems in arid conditions of the Orenburg Urals in 2002–2021. The influence of agrometeorological conditions of the growing season, spring reserves of soil moisture and nutrients, cellulolytic activity of microorganisms, content of organic matter, humus and acidity in the soil after applying mineral fertilizers on increasing productivity of millet (*Panicum miliaceum* L.) cv. ‘Orenburg 9’ were studied. The soil and millet crops were selected as the object of research. The work uses field, thermastatic-weight, ionometric, Machigin, application-weight, Tyurin, dispersion and statistical methods of research. Field experiments were performed in four-field, two-field crop rotations and continuous cropping according to the following scheme: 1) Sowing after durum wheat in the aftereffect of black fallow (control); 2) Sowing after common wheat in the aftereffect of black fallow; 3) Sowing after common wheat in the aftereffect of soil-protective fallow; 4) Sowing after common wheat in the aftereffect of sideral fallow; 5) Sowing after durum wheat; 6) Millet continuous cropping. It was revealed that the studied factors in the experiment increased millet productivity under two-field crop rotation with durum wheat after fertilizers application. Compared to the control, the maximum increase of grain yield was after using ammophos complex fertilizer (N₄₀P₄₀) — by 0.45 tons; feed units — 0.44; energy units — 0.26 and feed protein units — 0.24 t/ha. The best effect on increasing productivity was provided by: July precipitation — 28.05 %, spring reserves of productive moisture in 0–30 cm soil layer — 25.96 %; in 0–100 cm — 20.86 %, nitrate content — 71.80 %, phosphorus — 38.05 %, potassium — 33.07 %, microbial activity (cellulose decomposition) — 62.32 % (p < 0.05) compared to the control. The highest organic matter content (17.6 %) and humus (3.5 %) in soil and neutral acidity (pH = 7.0) create favorable conditions for growing millet after durum wheat. As a result of research on other crops, it was found that these factors do not affect yield increase. Positive results of the influence of factors can be useful in increasing millet productivity.

Key words: *Panicum miliaceum* L., crop rotation, precipitation, productive moisture, nutrients, microorganisms, organic matter, humus, soil acidity

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Acknowledgments. The study was carried out in accordance with the research plan for 2022–2024 of Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (No. 0526–2022–0014).

Article history: Received: 23 May 2022. Accepted: 20 February 2023.

For citation: Mitrofanov DV. Effect of mineral fertilizers, forecrops and soil-climatic conditions on millet productivity in steppe zone of the Southern Urals. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):31–44. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-31-44

Введение

Ограничительные политические и экономические меры, предпринятые западными странами в отношении Российской Федерации, привели к повышению рыночных цен на продовольственные товары. В связи со сложившейся ситуацией в России перед земледелием стоит задача расширить посевные площади проса.

Применение азотных и фосфорных удобрений приводит к накоплению нитратов, подвижного фосфора в начале вегетации проса и получению высоких прибавок урожая зерна [1–3]. В засушливых условиях после применения минеральных удобрений снижается урожайность проса. В среднем урожай без применения удобрений составляет 0,94 т и на удобренном агрофоне — только 0,82 т/га. Внесение минеральных удобрений менее эффективно в севообороте с просом [4–6]. Увеличение урожайности проса на неудобренном агрофоне зависит от осадков в июле [7]. Количество выпавших осадков в фазе всходов-кущения и выметывания метелки не всегда значительно влияют на повышение урожайности проса [8]. В период налива и созревания зерна выпадает 143,0 мм осадков при температуре воздуха 22,2 °С, что ведет к формированию средней урожайности проса [9, 10]. При повышении температуры воздуха в июле и августе наблюдается снижение урожайности проса с 0,95 до 0,70 т/га. Продуктивность в основном зависит от климатических факторов июля [11, 12]. Во всех севооборотах урожайность проса превышает данный показатель у мягкой и твердой пшеницы в два и более раз в различных складывающихся агрометеорологических условиях. В результате наблюдений установлено, что просо показывает высокую устойчивость и стабильность продуктивности в засушливых условиях вегетационного периода [13]. Запасы продуктивной влаги 95 мм и более с количеством выпавших осадков за вегетационный период до 197 мм приводят к максимальной урожайности проса в пределах от 2,60 до 3,20 т/га [14]. В метровом слое почвы запасы продуктивной влаги с учетом выпавших осадков, содержащие менее 70 мм, способствуют снижению продуктивности проса после внесения минеральных удобрений [15]. Целлюлозолитическая активность почвы под посевами проса в основном зависит от агрометеорологических условий в течение вегетации, при недостатках влаги она резко падает. В бессменном посеве проса активность микроорганизмов в почве ниже, чем в севооборотах. Внесение минеральных удобрений повышает биологическую активность почвы [16].

Для решения проблемы увеличения продуктивности проса проводили исследование в степной зоне Южного Урала.

Цель исследования — определить влияние погодных условий вегетационного периода, весенних запасов почвенной влаги и питательных веществ, целлюлозо-литической активности микроорганизмов, содержания органического вещества, гумуса и кислотности в почве на повышение продуктивности проса после внесения минеральных удобрений.

Материалы и методы исследования

Объект исследования — почва (чернозем южный) и посевы проса (*Panicum miliaceum* L.) сорта Оренбургское 9. Почва многолетнего экспериментального участка является черноземом южным карбонатным среднемощным малогумусным на желто-бурых тяжелых суглинках. В начале закладки, в 1988 г., стационарного поля площадью 24 га в слое почвы 0–30 см содержание гумуса составляет 3,2...4,0 %, общего азота — 0,20...0,31 % и фосфора — 0,14...0,22 %, нитратов — 8,7...18,1 мг, подвижного фосфора — 1,5...2,5 мг и обменного калия — 30,0...38,0 мг/100 г, рН почвенного раствора — 7,0...8,1. Стационарный опытный участок расположен возле п. Крона центральной зоны Оренбургской области по координатам (51°46'31"N, 55°18'34"E).

Исследования проведены с 2002 по 2021 гг. на базе бывшего ОПХ им. Куйбышева Оренбургского района. Наблюдения выполнены на длительном экспериментальном поле по изучению севооборотов и бессменных посевов. Методика полевого опыта применена по рекомендациям Б.А. Доспехова. Посевы проса изучены по предшественникам в четырехпольных (пар черный — озимая пшеница — твердая пшеница — просо; пар черный — твердая пшеница — мягкая пшеница — просо; пар почвозащитный (суданская трава) — твердая пшеница — мягкая пшеница — просо; пар сидеральный (овес с горохом) — твердая пшеница — мягкая пшеница — просо) и двупольном (просо — твердая пшеница) севооборотах и при бессменном его возделывании. Полевые опыты заложены в четырехкратной повторности по следующей схеме: 1) посев после твердой пшеницы в последствии черного пара (контроль); 2) посев после мягкой пшеницы в последствии черного пара; 3) посев после мягкой пшеницы в последствии почвозащитного пара; 4) посев после мягкой пшеницы в последствии сидерального пара; 5) посев после твердой пшеницы; 6) бессменный посев проса.

Эксперименты проведены на удобренном агрофоне выращивания проса. Посевы проса занимают площадь стационара около 0,34 га. Прямоугольные делянки размером 3,6 × 30 м в четырехпольных севооборотах и 7,2 × 30 м в двупольном и бессменном посеве. Перед осенней вспашкой внесен сеялкой аммофос в дозе 40 кг/га азота и фосфора ($N_{40}P_{40}$) действующего вещества. Во второй или третьей декаде мая высеяно сеялкой СЗП-3,6 просо с нормой 3 млн шт. всхожих семян на 1 га. Учетная площадь делянки проса — 180 м². Во второй половине августа проведена уборка проса специализированным комбайном Terrion-Sampo 2010 с измельчением и разбросом соломы на поверхность почвы. Выход зерна проса

определен с учетом 13,5 % влажности и 100 % чистоты. Содержание кормовых и кормопротеиновых единиц проса установлено по составу и питательности кормов (в 1 кг) А.П. Калашникова. Энергетические кормовые единицы рассчитаны по оценке питательности кормов сельскохозяйственных животных. Агротехника и агротехнология возделывания проса в севооборотах и бесценно рекомендованы для данной степной зоны Южного Урала.

В научно-исследовательской работе применены термостатно-весовой (С.А. Воробьев), ионометрический (нитраты), Мачигина (подвижный фосфор и калий), аппликационно-весовой (Е.Н. Мишустин и А.Н. Петрова), Тюрина (органическое вещество и гумус), дисперсионный и статистический методы исследования. Климат опытного участка резко-континентальный, в основном засушливый. Наблюдения за агрометеорологическими условиями вегетационного периода по Оренбургскому району проведены по данным Гидрометцентра. Осадки на стационаре определены с помощью полевого осадкомера, который расположен на контрольной деланке опыта. Гидротермический коэффициент увлажнения за период вегетации проса рассчитан по Г.Т. Селянину. Дисперсионный анализ и статистическая обработка полученных данных проведены с помощью множественной регрессии в программе Statistica 10.0 (Stat Soft Inc., США). Наблюдения, учеты, расчеты, анализы, контроль и оценка выполнены по общим принятым методикам и рекомендациям.

Результаты исследований и обсуждение

Проведенные в 2002—2021 гг. наблюдения за погодными факторами на опытном поле показали значительные изменения агрометеорологических условий в периоде вегетации проса. За июль и июнь отмечено наибольшее количество выпавших осадков по району — 42,2 мм при норме 41 мм и на поле — 33,3 мм (табл. 1).

Таблица 1

Агрометеорологические условия в период выращивания проса (2002–2021 гг.) в зависимости от времени года

Погодные факторы	Месяцы вегетационного периода проса				За месяцы
	Май	Июнь	Июль	Август	
Осадки по району, мм	$\frac{31,0^*}{41,0}$	$\frac{29,6}{39,0}$	$\frac{42,2}{41,0}$	$\frac{22,8}{34,0}$	$\frac{125,6}{155,0}$
Среднесуточная температура, °С	$\frac{16,4}{15,0}$	$\frac{20,8}{19,7}$	$\frac{22,8}{21,9}$	$\frac{21,9}{20,0}$	$\frac{20,5}{19,1}$
Суховейные дни	$\frac{16,0}{14,0}$	$\frac{15,0}{13,0}$	$\frac{15,0}{14,0}$	$\frac{18,0}{15,0}$	$\frac{64,0}{56,0}$
Осадки на поле, мм	29,9	33,3	30,2	22,9	116,3

Примечание: *Над чертой — среднее по данным Оренбургского гидрометцентра, под чертой — среднее многолетнее значение; ГТК по Г.Т. Селянину за месяцы составляет 0,54, среднее многолетнее — 0,50.

Agrometeorological conditions during millet cultivation depending on the season (2002–2021)

Weather factors	Months of the millet growing season				Total
	May	June	July	August	
Precipitation by area, mm	31.0*	29.6	42.2	22.8	125.6
	41.0	39.0	41.0	34.0	155.0
Average daily temperature, °C	16.4	20.8	22.8	21.9	20.5
	15.0	19.7	21.9	20.0	19.1
Dry days	16.0	15.0	15.0	18.0	64.0
	14.0	13.0	14.0	15.0	56.0
Precipitation on the field, mm	29.9	33.3	30.2	22.9	116.3

Note: *Above the line is the average data according to the Orenburg Hydrometeorological Center, below the line is the average annual data; Selyaninov hydrothermal moisture coefficient (HTC) for months is 0.54 and for years is 0.50.

По данным Оренбургского гидрометцентра за май, июнь, август выпадает осадков меньше среднемноголетней нормы: 31,0; 29,6 и 22,8 мм соответственно. Количество выпавших осадков по данным полевого осадкомера за май, июль, август составляет соответственно 29,9; 30,2 и 22,9 мм. Высокая среднесуточная температура воздуха наблюдается в июле 22,8 °С, что выше среднемноголетнего показателя лишь на 0,9 °С. Воздушная температура мая превышает норму на 1,4 °С, июня — на 1,1 °С и августа — на 1,9 °С. Максимальное число суховейных дней — 18 — отмечается в августе, что больше среднемноголетней нормы на 3. Количество суховейных дней в мае, июне, июле выше нормы. За период вегетации количество выпавших осадков составляет 125,6 мм или 81,0 % от среднемноголетней нормы 155,0 мм. За вегетационный период на поле выпадают осадки 116,3 мм и среднесуточная температура воздуха составляет 20,5 °С, что выше среднемноголетнего значения на 1,4 °С. За месяцы вегетации количество суховейных дней составляет 64, что выше нормы 56 на 8. В среднем гидротермический коэффициент увлажнения по Г.Т. Селянину равен 0,54, что указывает на средне засушливый вегетационный период проса.

Максимальное количество весенней продуктивной влаги с учетом осадков отмечается под посевом после мягкой пшеницы в последствии почвозащитного (III вариант опыта) и черного пара (контроль) четырехпольных севооборотов. Сохранится запасы в слое почвы 0–30 см — 43,8 мм и в 0–100 см — 140,3 мм (табл. 2).

Таблица 2

Весенние запасы продуктивной влаги и питательных веществ в почве под посевом проса в зависимости от исследуемых вариантов опыта (2002–2021 гг.)

Вариант опыта	Продуктивная влага, мм		Питательные вещества (0–30 см), мг/100 г почвы		
	0–30 см	0–100 см	NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O
I	42,2	140,3	8,3	6,3	47,3
II	42,0	136,0	8,0	6,2	46,7
III	43,8	134,7	5,6	5,1	41,9
IV	42,7	131,2	6,0	6,0	45,2
V	32,7	112,6	3,9	2,4	16,8
VI	39,1	126,6	8,6	5,8	44,4
НСР ₀₅	7,4	17,8	3,4	2,7	21,2

Spring reserves of productive moisture and nutrients in the soil under millet crops depending on the variants (2002–2021)

Variant	Productive moisture, mm		Nutrients (0–30 cm), mg/100 g soil		
	0–30 cm	0–100 cm	NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O
I	42.2	140.3	8.3	6.3	47.3
II	42.0	136.0	8.0	6.2	46.7
III	43.8	134.7	5.6	5.1	41.9
IV	42.7	131.2	6.0	6.0	45.2
V	32.7	112.6	3.9	2.4	16.8
VI	39.1	126.6	8.6	5.8	44.4
LSD ₀₅	7.4	17.8	3.4	2.7	21.2

Минимальное количество почвенной влаги наблюдается под посевом после твердой пшеницы двупольного севооборота (V вариант опыта) и в 0–30 см составляет 32,7 мм; в 0–100 см — 112,6 мм. По другим изучаемым вариантам эксперимента продуктивная влага под посевом проса отмечалась в пределах от 39,1 до 136,0 мм. В пятом варианте опыта в слое почвы 0–100 см фактическое различие содержания продуктивной влаги 27,7 мм больше наименьшей существенной разности ($HC\text{P}_{05} = 17,8$ мм), что является значимым.

Наибольшие весенние запасы нитратов (NO₃⁻) в слое почвы 0–30 см наблюдаются под бессменным посевом (VI вариант опыта) и на удобренном агрофоне составляет 8,6 мг, что выше контроля на 0,3 мг/100 г. Наименьшее содержание нитратов отмечается под посевом после твердой пшеницы в двупольном севообороте и составляет 3,9 мг, что ниже контроля на 4,4 мг/100 г почвы. Количество нитратов под посевом проса в последствии паров после внесения минеральных удобрений составляет от 5,6 до 8,3 мг/100 г почвы. Наибольшее количество подвижного фосфора (P₂O₅) в почве на удобренном агрофоне наблюдается в контроле — 6,3 мг, во втором — 6,2 мг и четвертом — 6,0 мг вариантах эксперимента. Наименьшее содержание оксида фосфора отмечается в пятом варианте опыта и составляет 2,4 мг, что ниже контроля на 3,9 мг/100 г почвы. В третьем и шестом вариантах эксперимента содержание подвижного фосфора в почве составляет 5,1 и 5,8 мг/100 г соответственно. Максимальное содержание подвижного калия K₂O в почве наблюдается в последствии черного пара (контроль) и составляет 47,3 мг/100 г. Минимальное количество оксида калия отмечается после твердой пшеницы в двупольном севообороте (V вариант опыта) и составляет 16,8 мг с отрицательным отклонением от контроля в 30,5 мг/100 г почвы. В результате последствий паров и бессменного посева проса определяется содержание подвижного калия в почве после внесения минеральных удобрений от 41,9 до 46,7 мг/100 г. Наилучшая значимая фактическая разность наблюдается в V варианте опыта по оксиду калия и составляет 30,5 мг ($HC\text{P}_{05} = 21,2$). Такое наблюдение объясняется высоким содержанием подвижного калия (характеристика почвы) в черноземах южных Предуралья.

Наибольшая активность микрофлоры почвы и максимальное содержание органического вещества и гумуса в почве наблюдались в V варианте опыта и составили 13,7; 17,6 и 3,5 % (табл. 3). Кислотность почвы под посевом проса в двупольном севообороте с твердой пшеницей находилась в нейтральном положении и составила 7,0. По остальным вариантам опыта показатели плодородия почвы были на уровне: биологическая активность почвы — 9,9...12,7 %; содержание органического вещества — 11,5...16,4 %, гумуса — 1,0...3,0 %, почвенного раствора — 7,5...8,0 рН. Значимая наименьшая существенная разность отмечена в VI варианте опыта по гумусу — 1,5 мм. Снижение содержания гумуса в бессменном посеве обосновывается истощением почвы и затормаживанием активности микрофлоры корневыми выделениями проса.

Таблица 3

Показатели плодородия почвы под посевом проса в слое чернозема 0–30 см в зависимости от вариантов опыта (2002–2021 гг.)

Показатели плодородия почвы	Вариант опыта						НСР ₀₅
	I	II	III	IV	V	VI	
Биологическая активность ¹	11,5	12,7	11,2	11,0	13,7	9,9	2,4
Органическое вещество ²	15,5	16,4	14,1	13,2	17,6	11,5	4,0
Гумус ³	2,8	3,0	2,7	2,5	3,5	1,0	1,5
Кислотность ⁴	7,6	7,5	7,7	7,8	7,0	8,0	0,6

Примечание. ¹Целлюлозолитическая активность микроорганизмов в почве, %; ²органическое вещество состоит из пожнивных, корневых остатков и соломы, %; ³содержание гумуса на южном черноземе, %; ⁴кислотность почвы выражается рН почвенным раствором.

Table 3

Soil fertility under millet cropping in 0–30 cm layer of chernozem (2002–2021)

Indicators of soil fertility	Variant						LSD ₀₅
	I	II	III	IV	V	VI	
Biological activity ¹	11.5	12.7	11.2	11.0	13.7	9.9	2.4
Organic matter ²	15.5	16.4	14.1	13.2	17.6	11.5	4.0
Humus ³	2.8	3.0	2.7	2.5	3.5	1.0	1.5
Acidity ⁴	7.6	7.5	7.7	7.8	7.0	8.0	0.6

Note: ¹Cellulolytic activity of microorganisms in the soil, %; ²Organic matter consists of crop, root residues and straw, %; ³Humus content in southern chernozem, %; ⁴Soil acidity is expressed by pH soil solution.

Выявлено, что наибольший выход зерна проса наблюдался в V варианте опыта (посев после твердой пшеницы) и составил 1,21 т, что выше контроля на 0,45 т/га (табл. 4). Наименьшая урожайность зерна проса отмечена в VI варианте эксперимента (бессменный посев) — 0,52 т, что ниже контроля на 0,24 т/га. По первым четырем вариантам опыта выход зерна составил 0,66...0,80 т/га.

Максимальный выход продуктивности с 1 га пашни отмечен в V варианте эксперимента — 1,18 т кормовых, 0,70 т энергетических и 0,65 т/га кормопротеиновых единиц. Минимальный выход продуктивности просматривался в VI варианте опыта — 0,28; 0,30 и 0,51 т/га соответственно. По остальным вариантам посева проса выход кормовых единиц составил 0,65...0,78 т; энергетических — 0,38...0,46 т

и кормопротеиновых — 0,36...0,43 т/га. Наилучшая наименьшая существенная разность определялась по выходу зерна — 0,43 т. Фактическая разность 0,45 т по сравнению с контролем зафиксирована в V варианте опыта и является значимой.

Таблица 4

Влияние различных вариантов опыта на продуктивность проса в севообороте и бесменном посеве, т/га (2002–2021 гг.)

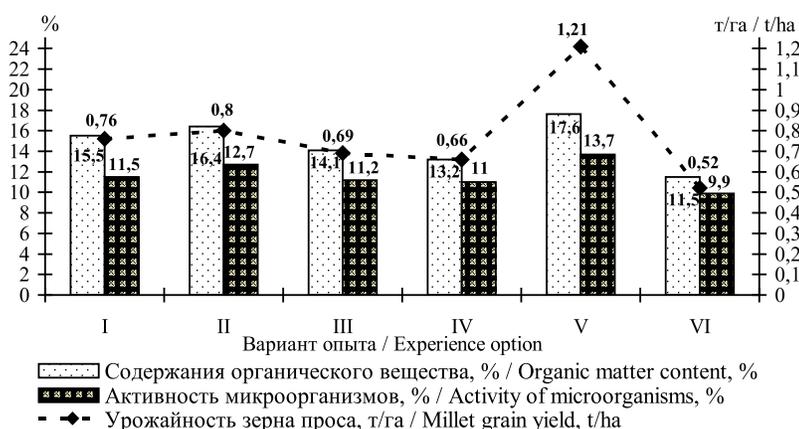
Единицы	Выход с 1 га в вариантах опыта, т						НСР ₀₅
	I	II	III	IV	V	VI	
Зерно	0,76	0,80	0,69	0,66	1,21	0,52	0,43
Кормовые	0,74	0,78	0,68	0,65	1,18	0,51	0,41
Энергетические	0,44	0,46	0,40	0,38	0,70	0,30	0,25
Кормопротеиновые	0,41	0,43	0,37	0,36	0,65	0,28	0,23

Table 4

Productivity of millet in crop rotation and continuous cropping, t/ha (2002–2021)

Parameter	Output from 1 ha in Variants, t						LSD ₀₅
	I	II	III	IV	V	VI	
Grains	0.76	0.80	0.69	0.66	1.21	0.52	0.43
Feed units	0.74	0.78	0.68	0.65	1.18	0.51	0.41
Energy units	0.44	0.46	0.40	0.38	0.70	0.30	0.25
Forage protein units	0.41	0.43	0.37	0.36	0.65	0.28	0.23

Влияние показателей плодородия почвы на урожайность зерна проса по вариантам опыта после внесения аммофоса показано на рисунке.



Воздействие содержания органического вещества и активности микроорганизмов в почве на урожайность зерна проса в севообороте и бесменном посеве после внесения аммофоса (2002–2021 гг.)

Effect of organic matter content and microbial activity in soil on yield of millet grain in crop rotation and permanent sowing after application of ammophos (2002–2021)

График показывает прямо пропорциональную зависимость: чем выше /ниже содержание органического вещества в почве и целлюлозолитической активности микроорганизмов, тем соответственно больше/меньше урожайность зерна проса по вариантам опыта или наоборот. Наилучшее влияние эти факторы оказывают на повышение продуктивности в V варианте посева.

В результате статистической обработки данных выявлено, что наибольшее влияние на повышение продуктивности проса из погодных факторов оказали июльские осадки в V варианте опыта, составив по выходу зерна, кормовых, энергетических и кормопротеиновых единиц соответственно: 27,91; 27,93; 27,96; 28,05 % с критерием уровня значимости 0,01 (табл. 5).

Таблица 5

Влияние основных факторов на повышение продуктивности проса в двухпольном севообороте с твердой пшеницей (2002–2021 гг.)

Основные факторы		Продуктивность проса			
		Зерна	Кормовых единиц	Энергетических единиц	Кормопро-теиновых единиц
Осадки дождемера	в июле	27,91/0,27*	27,93/0,27	27,96/0,27	28,05/0,28
		0,01**	0,01	0,01	0,01
Продуктивная влага в весенний период	в 0–30 см	25,96/0,25	25,91/0,25	25,79/0,25	25,80/0,25
		0,02	0,02	0,02	0,02
	в 0–100 см	20,86/0,20	20,83/0,20	20,71/0,20	20,73/0,20
		0,04	0,04	0,04	0,04
Питательные вещества после посева	Нитраты	71,80/0,71	71,78/0,71	71,55/0,71	71,75/0,71
		0,00	0,00	0,00	0,00
	Фосфор	38,05/0,38	37,95/0,37	37,84/0,37	37,78/0,37
		0,00	0,00	0,00	0,00
	Калий	33,07/0,33	33,01/0,33	32,79/0,32	32,93/0,32
		0,00	0,00	0,00	0,00
Биологический	в 0–20 см	62,13/0,62	62,03/0,62	61,93/0,61	62,32/0,62
		0,00	0,00	0,00	0,00

Примечание: * Перед чертой – доля влияния фактора, %, после черты – коэффициент детерминации; ** Критерий уровня значимости множественной регрессии ($p < 0,05$).

Table 5

Influence of the main factors on increasing millet productivity under two-field crop rotation with durum wheat (2002–2021)

Factors		Millet productivity			
		Grain	Feed units	Energy units	Forage protein units
Rain gauge precipitation	in July	27.91/0.27*	27.93/0.27	27.96/0.27	28.05/0.28
		0.01**	0.01	0.01	0.01
Productive moisture in spring	in 0–30 cm	25.96/0.25	25.91/0.25	25.79/0.25	25.80/0.25
		0.02	0.02	0.02	0.02
	in 0–100 cm	20.86/0.20	20.83/0.20	20.71/0.20	20.73/0.20
		0.04	0.04	0.04	0.04

Factors		Millet productivity			
		Grain	Feed units	Energy units	Forage protein units
Nutrients after sowing	Nitrates	71.80/0.71	71.78/0.71	71.55/0.71	71.75/0.71
		0.00	0.00	0.00	0.00
	Phosphorus	38.05/0.38	37.95/0.37	37.84/0.37	37.78/0.37
		0.00	0.00	0.00	0.00
	Potassium	33.07/0.33	33.01/0.33	32.79/0.32	32.93/0.32
		0.00	0.00	0.00	0.00
Biological	in 0–20 cm	62.13/0.62	62.03/0.62	61.93/0.61	62.32/0.62
		0.00	0.00	0.00	0.00

Note:* Before the line – share of the factor's influence, %; after the line – coefficient of determination;** The criterion of significance level of multiple regression ($p < 0.05$).

Воздействие весенних запасов почвенной влаги на увеличение продуктивности проса наблюдалось под посевом после твердой пшеницы в двупольном севообороте и в слое почвы 0–30 и 0–100 см — от 20,71 до 25,96 % с уровнем значимости 0,02 и 0,04 ($p < 0,05$). Наилучшее влияние оказывает содержание нитратов в пахотном слое почвы 0–30 см после посева в двупольном севообороте с твердой пшеницей, повышая выход зерна проса на 71,80 %, кормовых — 71,78 %, энергетических — 71,55 %, кормопротеиновых единиц — 71,75 % при уровне значимости 0,000002 и 0,000003. Доля влияния подвижного фосфора находится в пределах 37,78...38,05 %, калия — 32,79...33,07 % с уровнем значимости 0,003 и 0,008 соответственно. Целлюлозолитическая активность почвы (разложение целлюлозы микроорганизмами) оказывает значительное воздействие на рост культуры и повышает выход зерна на 62,13 %, кормовых — 62,03 %, энергетических — 62,32 % и кормопротеиновых единиц — 61,93 % с критерием уровня значимости 0,00003. Наибольшая активность микроорганизмов в почве приводит к легкой доступности питательных веществ для роста и развития культуры. По другим вариантам опыта не установлено воздействие изучаемых факторов на повышение продуктивности.

На основании результатов исследования в степной зоне Южного Урала для повышения урожайности зерна проса до 1,21 т/га и более рекомендуется внедрять посевы после твердой пшеницы в двупольном севообороте с применением аммофоса под вспашку в осенний период.

Заключение

Установлено, что при внесении аммофоса с дозой 40 кг/га азота и фосфора ($N_{40}P_{40}$) действующего вещества под основную обработку почвы (осенняя вспашка) происходит повышение продуктивности проса после твердой пшеницы в двупольном севообороте по сравнению с контрольным посевом. Наибольший выход зерна проса составил 1,21 т, кормовых — 1,18, энергетических — 0,70, кормопротеиновых единиц — 0,65 т/га. Максимальная прибавка от удобрения по сравнению с контролем получена по выходу зерна на 0,45 т, кормовых еди-

ниц — 0,44, энергетических — 0,26, кормопротеиновых — 0,24 т/га. В V варианте опыта (наилучшее влияние) содержание нитратов и целлюлозолитической активности микроорганизмов в почве увеличило продуктивность проса соответственно на 71,55...71,80 % и 61,93...62,32 % ($p < 0,05$). Совместное воздействие выпавших осадков в июле, весенних запасов продуктивной влаги, активности микроорганизмов, питательных веществ (нитраты, подвижный фосфор, калий), наибольшего содержания органического вещества, гумуса и нейтральной кислотности в почве обеспечивает благоприятные условия для выращивания проса на удобренном агрофоне по предшественнику твердая пшеница в двупольном севообороте. В других вариантах посева выявлено, что основные факторы и минеральные удобрения в засушливых условиях вегетационного периода не влияют на повышение продуктивности проса.

Библиографический список

1. Ярошенко Т.М., Журавлев Д.Ю., Климова Н.Ф. Влияние длительного применения различных доз минеральных удобрений на продуктивность культур зернопарового севооборота в условиях засушливой степи Поволжья // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 49–56. doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp49–56
2. Ярошенко Т.М., Журавлев Д.Ю., Климова Н.Ф. Продуктивность культур зернопарового севооборота при длительном применении минеральных удобрений на черноземе южном Саратовского Правобережья // Аграрный Вестник Юго-Востока. 2020. № 1 (24). С. 22–25.
3. Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Пищевой режим чернозема южного и продуктивность проса (*Panicum Miliaceum L.*) в длительном стационарном опыте с удобрениями // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 1. С. 3–9. doi: 10.26178/AE.2019.67.47.001
4. Скороходов В.Ю., Зоров А.А., Зенкова Н.А. Продуктивность короткоротационных севооборотов с просом на черноземах южных Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (79). С. 82–86.
5. Скороходов В.Ю. Влияние погодных факторов вегетации и фона питания на накопление нитратного азота в почве под сельскохозяйственными культурами на черноземах Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 2. С. 176–185.
6. Скороходов В.Ю., Кафтан Ю.В. Продуктивность севооборотов с озимыми культурами и их экономическая эффективность в степной зоне Южного Урала // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 4 (100). С. 248–255.
7. Жижин В.Н., Скороходов В.Ю., Митрофанов Д.В., Кафтан Ю.В. Влияние погодных факторов на урожайность проса при возделывании в севооборотах и бессменном посеве на черноземах южных Оренбургской области // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 4. С. 217–225.
8. Антимонова О.Н., Сыркина Л.Ф. Формирование урожайности сортов проса посевного в зависимости от гидротермических условий // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2020. № 10 (163). С. 74–82. doi: 10.36718/1819-4036-2020-10-74-82
9. Сурков А.Ю., Суркова И.В. Влияние морфотипа проса на характер связи между признаками // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 2 (34). С. 71–77. doi: 10.24411/2309-348X-2020-11172
10. Сурков А.Ю., Суркова И.В. Формирование урожайности проса и ее элементов в зависимости от гидротермических условий // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 5. С. 18–23.
11. Неверов А.А. Роль погодно-климатических факторов восточной зоны Оренбуржья в формировании урожая проса // Бюллетень Оренбургского научного центра УРО РАН. 2017. № 3. С. 7–17.
12. Неверов А.А. Компьютерное моделирование связи урожая проса с погодно-климатическими условиями западной зоны Оренбургской области // Бюллетень Оренбургского научного центра УРО РАН. 2017. № 1. С. 9–19.

13. Азизов З.М., Архипов В.В., Имашев И.Г. Урожайность проса, яровой мягкой пшеницы и яровой твердой пшеницы в условиях засушливого Поволжья // *Аграрный Вестник Юго-Востока*. 2020. № 1 (24). С. 11–13.

14. Крючков А.Г., Елисеев В.И. Ресурсы влаги и урожайность проса на чернозёме обыкновенном в степи Оренбургского Предуралья // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2009. № 4 (24). С. 18–21.

15. Ряховский А.В., Варавва В.Н. Влияние биологических особенностей агрофитоценозов проса, гречихи на их продуктивность и качество крупы // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2007. № 3 (15). С. 77–80.

16. Жижин В.Н., Скороходов В.Ю., Кафтан Ю.В., Митрофанов Д.В. Биологическая активность почвы под посевом проса в зависимости от предшествующих звеньев севооборотов на черноземах южных Оренбургского Предуралья // *Вестник мясного скотоводства*. 2013. № 2 (80). С. 124–126.

References

1. Yaroshenko TM, Zhuravlev DY, Klimova NF. Influence of long-term use of various doses of mineral fertilizers on the productivity of grain-fallow crop rotation in the arid steppe of the Volga region. *The Agrarian scientific journal*. 2021;(8):49–56. (In Russ.). doi: 10.28983/asj.y2021i8pp49-56

2. Yaroshenko TM., Zhuravlev DY, Klimova NF. Productivity of crops of grain-crop rotation during the long-term use of mineral fertilizers on the south chernozem of the Saratov Right Bank. *Agrarian Reporter of South-East*. 2020;(1):22–25. (In Russ.).

3. Chub MP, Pronko VV, Yaroshenko TM, Klimova NF, Zhuravlev DY. Nutrient status of southern chernozem and productivity of millet (*Panicum miliaceum* L.) in a long-term stationary experiment with fertilizers. *Agrochemistry and ecology problems*. 2019;(1):3–9. (In Russ.). doi: 10.26178/AE.2019.67.47.001

4. Skorokhodov VY, Zorov AA, Zenkova NA. Yields of short systems of crop rotation with true millet on southern black soils of Orenburg Preduralye. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;(5):82–86. (In Russ.).

5. Skorokhodov VY. Influence of weather factors of vegetation and the background of nutrition on the accumulation of nitrate nitrogen in the soil under crops on chernozems of Orenburg Cis-urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(2):176–185. (In Russ.).

6. Skorokhodov VY, Kaftan YV. Productivity of crop rotations with winter crops and their economic efficiency in the steppe zone of the Southern Urals. *Herald of beef cattle breeding*. 2017;(4):248–255. (In Russ.).

7. Zhizhin VN, Skorokhodov VY, Mitrofanov DV, Kaftan YV. Influence of weather factors on millet yield during cultivation in crop rotations and permanent sowing on chernozems of the southern Orenburg region. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(4):217–225. (In Russ.).

8. Antimonova ON, Syrkina LF. The formation of crop yield of millet varieties depending on hydrothermal conditions. *Bulletin of KSAU*. 2020;(10):74–82. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2020-10-74-82

9. Surkov AY, Surkova IV. Influence of millet morphotype on the relationship between traits. *Legumes and groat crops*. 2020;(2):71–77. (In Russ.). doi: 10.24411/2309-348X-2020-11172

10. Surkov AY, Surkova IV. Millet productivity and its elements depending on hydrothermal conditions. *Vestnik of Kursk state agricultural academy*. 2018;(5):18–23. (In Russ.).

11. Neverov AA. The role of weather and climatic factors of the eastern zone of Orenburg region in the formation of millet harvest. *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra URO RAN*. 2017;(3):7–17. (In Russ.).

12. Neverov AA. Computer simulation of when the harvest of millet weather-climatic conditions of western zone of the Orenburg region. *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra URO RAN*. 2017;(1):9–19. (In Russ.).

13. Azizov ZM, Arkhipov VV, Imashev IG. Productivity of millet, spring soft wheat and durum wheat in the conditions of arid Volga region. *Agrarian Reporter of South-East*. 2020;(1):11–13. (In Russ.).

14. Kryuchkov AG, Eliseev VI. Moisture resources and millet yields on black steppe soils of the Orenburg Preduralye. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2009;(4):18–21. (In Russ.).

15. Ryakhovskiy AV, Varavva VN. Effect of biological characteristics of buck-wheat and millet agrophytocoenoses on their productivity and groats quality. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2007;(3):77–80. (In Russ.).

16. Zhizhin VN, Skorokhodov VY, Kaftan YV, Mitrofanov DV. Biological activity of soil under millet sowing depending on previous links of crop rotations on chernozems of the southern Orenburg Urals. *Herald of beef cattle breeding*. 2013;(2):124–126. (In Russ.).

Об авторе:

Митрофанов Дмитрий Владимирович — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; e-mail: dvm.80@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7172-6904

SPIN-код: 8892–4092

About the author:

Mitrofanov Dmitry Vladimirovich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya st., Orenburg, 460000, Russian Federation; e-mail: dvm.80@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7172-6904

SPIN-code: 8892–4092