

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА СОРГО НА ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

Н. Н. Шаповалова, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией почвоведения и агрохимии, schapovalova.nadejda@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2485-6682;

А. Б. Володин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией сорго, ORCID ID: 0000-0002-2944-4241;

Е. А. Менькина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории почвоведения и агрохимии, ORCID ID: 0000-0002-0512-8893;

Д. А. Ахмедшина, младший научный сотрудник лаборатории почвоведения и агрохимии, ORCID ID: 0000-0001-9063-8734

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», 356241, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, д. 49; e-mail: info@fnac.center

Представлены результаты исследований в опыте, включенном в Географическую сеть опытов с удобрениями, заложенном в 1975 г. на черноземе обыкновенном в условиях неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Цель исследований – выявить влияние последействия длительного применения минеральных удобрений на агрохимические свойства почвы, урожай и качество зерна сорго в зависимости от погодных условий года. Установлено, что после 30 лет действия и 14 лет последействия применения фосфорного удобрения в дозах 60–180 кг/га д.в. содержание остаточного фосфора в слое 0–20 см почвы перед посевом сорго варьировало от 25 до 55 мг/кг. Урожайность культуры находилась в тесной зависимости от погодных условий и агрохимического состояния почвы. В засушливых условиях 2020 г. наиболее высокий урожай зерна (2,5–3,16 т/га) был получен на участках последействия фосфорного удобрения с повышенным содержанием P_2O_5 в почве (более 30 мг/кг), во влажный год – в последействии азотного удобрения на фоне низкой обеспеченности фосфатами (12–16 мг/кг) – 5,10–5,64 т/га. В разных погодных условиях максимальный уровень урожайности сорго был достигнут в последействии полного минерального удобрения или при сбалансированном питательном режиме почвы: в 2020 г. – 3,81–4,96 т/га и в 2022 г. – 5,44–6,14 т/га. Качество зерна сорго также обуславливалось погодой и свойствами почвы. Зерно с наиболее высоким содержанием сырого протеина (9,9–13,6 %) получено в засушливый год в последействии азотного удобрения. В оба года исследования наименьшую питательную ценность имела продукция, полученная в последействии внесения высоких доз одного фосфорного удобрения (120–180 кг/га д.в.). Содержание сырого протеина не превышало 2,2–7,8 %. Для стабилизации урожайности и повышения питательной ценности зерна сорго необходимо в первую очередь оптимизировать азотное питание растений, особенно в условиях хорошей влагообеспеченности посевов.

Ключевые слова. Зерновое сорго, последействие минеральных удобрений, элементы питания, свойства почвы, качество зерна.

Для цитирования: Шаповалова Н. Н., Володин А. Б., Менькина Е. А., Ахмедшина Д. А. Влияние последействия длительного применения минеральных удобрений на урожайность и качество зерна сорго на черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 15, № 2. С. 84–91. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-84-91.



THE INFLUENCE OF THE AFTEREFFECT OF LONG-TERM USE OF MINERAL FERTILIZERS ON SORGHUM GRAIN PRODUCTIVITY AND QUALITY ON ORDINARY BLACK EARTH OF THE CENTRAL PRE-CAUCASUS

N. N. Shapovalova, senior researcher, head of the laboratory for soil study and agrochemistry, schapovalova.nadejda@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2485-6682;

A. B. Volodin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, head of the laboratory for sorghum, ORCID ID: 0000-0002-2944-4241;

E. A. Men'kina, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for soil study and agrochemistry, ORCID ID: 0000-0002-0512-8893;

D. A. Akhmedshina, junior researcher of the laboratory for soil study and agrochemistry, ORCID ID: 0000-0001-9063-8734

FSBSI "North-Caucasus Federal Scientific Agrarian Center", 356241 Stavropol Territory, Mikhaylovsk, Nikonov Str., 49; e-mail: info@fnac.center

There have been presented the study results of the experiment of the Geographical Network of Experiments with fertilizers, established in 1975 on ordinary chernozem under conditions of unstable moisture in the Stavropol Territory. The purpose of the current study was to reveal the influence of the aftereffect of the long-term use of mineral fertilizers on the agrochemical properties of soil, productivity, and quality of sorghum grain, depending on the weather conditions of the year. There has been established that, after 30 years of action and 14 years of aftereffect of the use of phosphorus fertilizers in doses of 60–180 kg/ha of a.i. the content of residual phosphorus in the soil layer of 0–20 cm before sowing sorghum varied from 25 to 55 mg/kg. The crop productivity was closely dependent on

weather conditions and the agrochemical condition of the soil. In arid conditions in 2020, the largest grain productivity (2.5–3.16 t/ha) was obtained in areas of phosphorus fertilizer's aftereffect with a high content of P_2O_5 in soil (more than 30 mg/kg). In the wet year, the largest productivity (5.10–5.64 t/ha) were obtained in nitrogen fertilizers' aftereffect against the background of low phosphates availability (12–16 mg/kg). In different weather conditions, the maximum level of sorghum productivity was obtained in the aftereffect of complete mineral fertilizer or with a balanced nutrient regime of the soil, in 2020 it was 3.81–4.96 t/ha and in 2022 it was 5.4–6.14 t/ha. Sorghum grain quality was also determined by the weather and soil properties. Grain with the highest crude protein percentage (9.9–13.6 %) was obtained in a dry year after the effect of nitrogen fertilizer. In both years of the study, the products obtained after the application of high doses of one phosphorus fertilizer (120–180 kg/ha a.i.) had the least nutritional value. The crude protein percentage in grain did not exceed 2.2–7.8 %. To stabilize productivity and increase the nutritional value of sorghum, it is necessary, first of all, to optimize the nitrogen nutrition of plants, especially in conditions of good moisture supply.

Keywords: grain sorghum, mineral fertilizers' aftereffect, nutrients, soil properties, grain quality.

Введение. В мировом сельскохозяйственном производстве сорго занимает достойное место, уступая по посевным площадям лишь пшенице, рису, кукурузе и ячменю. На долю сорго зернового приходится 39,3–44,8 млн га, а средняя урожайность зерна составляет около 1,4–1,6 т/га (Ковтунов, 2018). Широкое распространение культуры обусловлено ее неприхотливостью, нетребовательностью к уходу, высокой адаптивностью за счет способности оптимально использовать влагу и формировать полноценный урожай в неблагоприятных погодных условиях, при которых его не всегда можно получить от традиционных зерновых культур (Baranovsky et al., 2022; Глуховцев и др., 2014).

Сорго растет практически на всех почвах, но для достижения высокой урожайности необходимо удобрять посевы или размещать их на участках с оптимальными агрохимическими свойствами, отвечающими требованиям культуры (Бойко и др., 2022; Алабушев и др., 2011). Так, в период интенсивного роста и формирования листостебельной массы растениям необходим азот; при образовании корней, во время цветения и плодоношения – фосфор; для накопления углеводов (сахаров) – калий (Baranovsky et al., 2020; Кух и Среда, 2014). Отзывчивость сорго на плодородие почвы лучше всего определять в полевом опыте, в котором длительное время систематически применялись разные виды и дозы минеральных удобрений, и после прекращения их внесения (в период последействия) образовались разные агрофоны с различным содержанием и соотношением остаточных количеств питательных элементов (Шаповалова и Годунова, 2019).

В современном земледелии исследований по вопросам влияния удобрений и плодородия почвы на урожайность зернового сорго в условиях Центрального Предкавказья недостаточно. Это связано как с сокращением объемов кормопроизводства, так и со значительным ростом цен на минеральные удобрения и экономической целесообразностью их применения лишь под наиболее отзывчивые и востребованные на рынке зерновые культуры – озимую пшеницу, ячмень и кукурузу. Поэтому оценка вклада плодородия почвы в повышение урожайности зернового сорго является весьма актуальной задачей, имеющей практическое значение в развитии кормовой базы животноводства.

Цель исследований – выявить влияние последствий длительного применения минеральных удобрений на агрохимические свойства чернозема обыкновенного, урожай и качество зерна сорго в зависимости от погодных условий года.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены в 2020 и 2022 гг. на экспериментальном полигоне лаборатории почвоведения и агрохимии ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в длительном стационарном опыте Географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами, заложенном в 1975 году. В опыте возделывался сорт зернового сорго КиМ селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ».

Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным мощным малогумусным тяжелосуглинистым на карбонатном лессовидном суглинке. При закладке опыта свойства почвы в слое 0–20 см характеризовались следующими основными показателями: содержание гумуса по Тюрину – 4,3 %; подвижного фосфора и калия в 1 % углеаммонийной вытяжке по Мачигину – 12,9 и 184 мг/кг; рН водной суспензии – 7,3; валовой азот – 0,32 %; валовой фосфор – 0,12 %; валовой калий – 2,13 %; общие карбонаты по Павлову – 1,17 %.

Схемой опыта предусматривалось внесение разных видов простых удобрений в возрастающих дозах отдельно и на фоне двух других элементов питания по 120 кг/га д.в. каждого. В качестве удобрений использовали аммиачную селитру, суперфосфат и 40-процентную калийную соль, которые в течение первых трех ротаций севооборота вносились ежегодно перед посевом культуры, исключая поле чистого пара. С 1993 по 1995 г. удобрения не применялись вовсе, а с осени 1996–1998 по весну 2005–2007 г. – только фосфорное и азотное удобрения по прежней схеме. За 30 лет прямого действия удобрений проведено 21-кратное наложение азотного и фосфорного и 15-кратное калийного удобрений. По вариантам опыта суммарно было внесено от 630 до 3780 кг/га азота, от 630 до 3780 кг/га фосфора и от 450 до 2700 кг/га калия.

Прямое действие удобрений изучалось в шестипольном полевом севообороте, который в первых трех ротациях был развернут по схеме: 1. Чистый пар; 2. Озимая пшеница; 3. Озимая пшеница; 4. Кукуруза на силос;

5. Озимая пшеница; 6. Овес (яровой ячмень). В IV и V ротациях кукуруза была заменена занятым паром. С 2006 г. проводили наблюдения за последствием удобрений. В этот период культуры чередовались следующим образом: чистый пар – озимая пшеница – озимый ячмень – соя – яровой ячмень – лен – озимая пшеница – чистый пар – озимая пшеница – горох – озимая пшеница – чистый пар – озимая пшеница – подсолнечник – зерновое сорго. Опыт изначально проводили на трех полях, последовательно закладываемых во времени с интервалом в один год. К началу изучения последствия (2006 г.) в опыте сохранились лишь две временные повторности. Площадь опытной делянки составляет 75 м², уборочная площадь – 22 м². Повторность вариантов на каждом поле четырехкратная.

В процессе проведения лабораторных исследований использовали общепринятые методики определения основных показателей агрохимического состояния почвы: подвижный фосфор и калий по Мачигину (ГОСТ 26205-91), нитратный азот по Грандваль-Ляжу. Анализ качества продукции проведен методом инфракрасной спектроскопии. Урожайность учитывали прямым обмолотом малогабаритным селекционным комбайном «Wintersteiger» с последующим пересчетом на стандартную влажность. Полученные результаты обработаны математическим методом статистического анализа данных с использованием программы AgCStat-Excel.

В годы исследований погодные условия заметно отличались как по температурному режиму, так и по количеству выпавших осадков, причем наиболее существенные различия наблюдались в обеспеченности посевов влагой. Средняя температура воздуха за время вегетации сорго составила в 2020 г. 20,8 °С и в 2022 г. – 19,7 °С, что выше среднемноголетнего значения показателя на 1,3 и 0,2 °С соответственно. Отклонение среднемесячных температур воздуха от нормы находилось в пределах от –0,3 до 3,0 °С в 2020 г.

и от –2,2 до 1,8 °С в 2022 году. То есть в 2022 г. наблюдалась более высокая амплитуда колебаний среднемесячных температур воздуха.

Сумма осадков вегетационного периода составила в 2020 г. 228 мм, или 78 %, и в 2022 г. – 383 мм, или 131%, к норме. В 2020 г. крайне засушливыми оказались август и сентябрь (14 и 6 % от нормы), а в 2022 г. недобор осадков отмечался лишь в августе (72 %). Таким образом, по температурному режиму и количеству выпавших осадков 2020 г. характеризовался как засушливый, а 2022 г. – влажный. ГТК по Селянину – 0,72 и 1,27 соответственно. Погодные условия обусловили различия в урожайности культуры как на естественном фоне плодородия (контроль), так и на удобренных фонах с разным содержанием остаточных форм основных элементов питания. Агрофоны были созданы в результате 30 лет применения минеральных удобрений в различных дозах и соотношении питательных элементов, последствие которых наблюдалось и в 15-й год при возделывании сорго.

Результаты и их обсуждение. Состояние эффективного плодородия почвы перед посевом сорго обуславливалось количеством удобрений, внесенных с первой по пятую ротацию севооборота. Наиболее заметный и длительный эффект последствия отмечался в результате применения фосфорного удобрения. При этом количество остаточных фосфатов превышало содержание P₂O₅ в контроле даже после длительного использования небольших доз фосфорного удобрения (30–60 кг/га д.в.) – на 8–20 мг/кг. Через 14 лет последствия длительного применения разных видов и доз минеральных удобрений питательный режим почвы характеризовался следующими основными показателями.

Содержание подвижного фосфора в слое 0–20 см в вариантах последствия внесения одного азотного удобрения составило 12–16 мг/кг, что соответствовало природному уровню плодородия чернозема, а на фоне P₁₂₀K₁₂₀ – 28–38 мг/кг (табл. 1).

Таблица 1. Содержание подвижного фосфора в слое 0–20 см почвы перед посевом сорго в 15-й год последствия минеральных удобрений, мг/кг
Table 1. Content of labile phosphorus in the soil layer of 0–20 cm before sowing sorghum in the 15th year of mineral fertilizers' aftereffect, mg/kg

Последствие азотного удобрения			Последствие фосфорного удобрения		
Доза удобрения, кг/га д.в.	P ₂ O ₅ , мг/кг	± к контролю	Доза удобрения, кг/га д.в.	P ₂ O ₅ , мг/кг	± к контролю
N ₀	16	–	P ₀	17	–
N ₃₀	13	–3	P ₃₀	25	8
N ₆₀	13	–3	P ₆₀	37	20
N ₉₀	16	0	P ₉₀	46	29
N ₁₂₀	16	0	P ₁₂₀	55	38
N ₁₅₀	13	–3	P ₁₅₀	48	31
N ₁₈₀	12	–4	P ₁₈₀	32	15
P ₁₂₀ K ₁₂₀ – фон	38	22	N ₁₂₀ K ₁₂₀ – фон	17	0
фон + N ₃₀	37	21	фон + P ₃₀	18	1
фон + N ₆₀	32	16	фон + P ₆₀	25	8
фон + N ₉₀	30	14	фон + P ₉₀	32	15

Окончание табл. 1

Последствие азотного удобрения			Последствие фосфорного удобрения		
Доза удобрения, кг/га д.в.	P ₂ O ₅ , мг/кг	± к контролю	Доза удобрения, кг/га д.в.	P ₂ O ₅ , мг/кг	± к контролю
фон + N ₁₂₀	30	14	фон + P ₃₀	38	21
фон + N ₁₅₀	31	15	фон + P ₃₀	42	25
фон + N ₁₈₀	28	12	фон + P ₃₀	33	16
HCP ₀₅	5,1				

В вариантах последствия возрастающих доз фосфорного удобрения (от 30 до 180 кг/га д.в.) как отдельно, так и на фоне N₁₂₀K₁₂₀ обеспеченность P₂O₅ варьировала в зависимости от дозы от 18 до 55 мг/кг. На протяжении всего периода последствия удобрений обеспеченность почвы подвижными фосфатами в вариантах отдельного применения фосфора была на 6–17 мг/кг выше, чем в вариантах совместного внесения с азотом и калием из-за меньшего выноса элемента растениями. За период выращивания культур без внесения фосфорных удобрений содержание остаточных фосфатов в пахотном слое почвы сократилось на 19–46 %. При этом процесс использования растениями фосфора из почвы при очень высоком уровне его содержания (79–91 мг/кг) протекал в 1,9–2,5 раза более интенсивно, чем при повышенной степени обеспеченности элементом – 37–42 мг/кг (Шаповалова и Годунова, 2019).

Перед посевом сорго пахотный слой почвы имел очень низкую степень обеспеченности нитратным азотом (1,8–2,3 мг/кг), связанной с повышенным выносом элемента предшествующей культурой – подсолнечником. При этом каких-либо существенных различий в значениях этого показателя на участках последствия удобрений и не удобренным контролем не выявлено.

Содержание подвижного калия в вариантах опыта варьировало от низкого до среднего уровня – от 188 до 232 мг/кг. Заметных отличий между вариантами опыта по обеспеченности почвы калием, обусловленных по-

следствием 15-кратного наложения калийного удобрения, так же как и нитратного азота, не отмечено. Наибольшее содержание K₂O наблюдалось в варианте последствия совместного внесения фосфора и калия P₁₂₀K₁₂₀ (232 мг/кг), наименьшее значение показателя (188–195 мг/кг) – в последствии высоких доз фосфорного удобрения (150–180 кг/га д.в.) как отдельно, так и на фоне N₁₂₀K₁₂₀. Анализ многолетних данных показал способность почвы поддерживать естественный уровень содержания калия, поэтому в годы исследований данный показатель характеризовался наименьшей степенью варьирования – в пределах 5–9 % (Шаповалова и Годунова, 2019).

Совокупным показателем благоприятности погодных условий и свойств почвы является урожайность культуры. В засушливом 2020 г. урожайность сорго в контроле без удобрений находилась в пределах 2,23–2,47; во влажном 2022 г. – 3,60–3,94 т/га. Различия между годами, обусловленное разным количеством осадков и температурным режимом, составило 1,37–1,47 т/га, или 60–61 % (табл. 2). Отзывчивость культуры на последствие удобрений наряду с погодными условиями зависела также от вида, дозы и соотношения элементов питания. Отличия по урожайности в вариантах последствия удобрений в годы исследований варьировали в очень больших пределах – от 0,26 до 3,09 т/га, или от 5 до 142 %, что свидетельствует о заметном вкладе эффективного плодородия почвы в формирование продуктивности сорго.

Таблица 2. Влияние последствия применения разных видов минеральных удобрений на урожайность сорго в годы исследований, т/га
Table 2. Influence of aftereffect of the use of different types of mineral fertilizers on sorghum productivity in the years of study, t/ha

Виды удобрений	Год исследований	Доза удобрения, кг/га д.в.						
		0	30	60	90	120	150	180
Азотное	2020	2,47	2,38	2,17	2,23	2,56	3,75	3,26
	2022	3,94	4,26	5,26	5,10	5,64	5,47	5,59
	разность	1,47	1,88	3,09	2,87	3,08	1,72	2,33
Азотное на фоне P ₁₂₀ K ₁₂₀	2020	3,98	3,81	3,95	3,98	4,25	3,43	3,36
	2022	3,86	3,70	5,05	5,28	6,11	5,44	4,90
	разность	-0,12	-0,11	1,10	1,30	1,86	2,01	1,54
HCP ₀₅		0,17						
Фосфорное	2020	2,23	2,21	2,12	3,06	2,72	2,50	3,16
	2022	3,60	3,53	4,28	4,17	4,78	4,11	4,49
	разность	1,37	1,32	2,16	1,11	2,06	1,61	1,33
Фосфорное на фоне N ₁₂₀ K ₁₂₀	2020	3,82	4,06	3,84	3,88	3,87	4,96	4,76
	2022	3,53	3,50	4,81	5,07	5,26	5,22	5,17
	разность	-0,29	-0,56	0,97	1,19	1,39	0,26	0,41
HCP ₀₅		0,20						

В засушливых условиях 2020 г. существенное влияние на урожайность сорго оказали остаточные формы подвижных фосфатов при повышенном содержании их в пахотном слое почвы – от 30 до 55 мг/кг, особенно в последствии совместного применения фосфорных и азотно-калийных туков. Прирост урожайности культуры от последствия одного фосфорного удобрения в дозах

90–180 кг/га д.в. составил 0,27–0,93 т/га, фосфора в дозах 150–180 кг/га на фоне $N_{120}K_{120}$ – 0,94–1,14 т/га и от фосфорно-калийного фона ($P_{120}K_{120}$) – 1,43–1,78 т/га (табл. 3). Наибольшая урожайность зерна сорго была получена в последствии высоких доз фосфора на азотно-калийном фоне ($N_{120}P_{150-180}K_{120}$) – 4,76–4,96 т/га, что составило 213–222 % к урожайности в не удобренном контроле.

Таблица 3. Влияние последствия удобрений на урожайность сорго в засушливых условиях, т/га (2020 г.)

Table 3. Influence of fertilizers' aftereffect on sorghum productivity in dry conditions, t/ha (2020)

Фон	Доза, кг/га д.в.	Урожайность в последствии		Разность по факторам			
		азотного удобрения	фосфорного удобрения	фон		доза	
				$P_{120}K_{120}$	$N_{120}K_{120}$	азота	фосфора
Естественный	0	2,47	2,23	–	–	–	–
	30	2,38	2,21	–	–	–0,09	–0,02
	60	2,17	2,12	–	–	–0,3	–0,11
	90	2,23	3,06	–	–	–0,24	0,83
	120	2,56	2,72	–	–	0,09	0,49
	150	3,75	2,50	–	–	1,28	0,27
Удобренный	180	3,26	3,16	–	–	0,79	0,93
	0	3,98	3,82	1,51	1,59	–	–
	30	3,81	4,06	1,43	1,85	–0,17	0,24
	60	3,95	3,84	1,78	1,72	–0,03	0,02
	90	3,98	3,88	1,75	0,82	0,0	0,06
	120	4,25	3,87	1,69	1,15	0,27	0,05
	150	3,43	4,96	–0,32	2,46	–0,53	1,14
180	3,36	4,76	0,10	1,60	–0,62	0,94	
НСР ₀₅ по факторам		–		0,14		0,26	
НСР ₀₅ для средних		0,52		–		–	

Положительное влияние на урожайность сорго оказало также последствие применения высоких доз одного азотного удобрения ($N_{150-180}$) на фоне низкого содержания подвижного фосфора в почве – 12–13 мг/кг. Прирост урожая зерна относительно контроля находился в пределах 0,79–1,28 т/га, что близко к значениям показателя, полученным в результате последствия фосфорного удобрения. На ос-

новании результатов определения численности почвенных дрожжей можно предположить, что недостаток минеральных подвижных форм фосфора мог быть компенсирован растениями с помощью микроорганизмов за счет использования фосфора органических соединений, составляющих 60–80 % от общих запасов P_2O_5 в почве, и малодоступных фосфатов (табл. 4).

Таблица 4. Численность почвенных дрожжей в слое 0–20 см почвы после 12 лет последствия минеральных удобрений, тыс. КОЕ/г АСП

Table 4. Number of soil yeasts in the soil layer of 0–20 cm after 12 years of mineral fertilizers' aftereffect, thousand CFU/g ASP

Виды удобрений	Доза азота, кг/га	Численность почвенных дрожжей	Разность	
			по фону	по дозе
Азотное	0	27,6	–	–
	N_{30}	26,5	–	–1,1
	N_{90}	27,6	–	0,0
	N_{150}	68,8	–	41,2
Азотное на фоне $P_{120}K_{120}$	0	30,7	3,1	–
	N_{30}	28,6	2,1	–2,1
	N_{90}	81,7	54,1	51,0
	N_{150}	88,2	19,4	57,5
НСР ₀₅		19,8	7,0	9,9

Во влажном 2022 г. отмечено заметное преимущество последствия азотного перед фосфорным удобрением при отдельном внесении элементов. Отличия по урожайности между видами удобрений находились в пределах от 0,73 до 1,36 т/га (табл. 5). Прирост урожайности сорго под влиянием последствия азота в дозах 60–180 кг/га при отдельном внесении составил 1,16–1,70; на фоне $P_{120}K_{120}$ – 1,04–2,25 т/га относительно контроля. В сравнении с азотным удобрением прирост от последствия одного фосфора в тех же дозах варьировал от 0,51

до 1,18 т/га, на фоне $N_{120}K_{120}$ – от 1,28–1,73 т/га. То есть отзывчивость культуры на последствие возрастающих доз азота и фосфора в составе полного удобрения была близкой. Следовательно, во влажный год урожайность сорго, полученная в результате последствия длительного применения одного азотного и полного минерального удобрений в дозах 60–180 кг/га азота, достоверно не различалась и находилась в пределах 5,10–5,64 и 4,90–6,11 т/га соответственно.

Таблица 5. Влияние последствия удобрений на урожайность сорго во влажных условиях, т/га (2022 г.)

Table 5. Influence of fertilizers' aftereffect on sorghum productivity in wet conditions, t/ha (2022)

Фон	Доза, кг/га д.в.	Урожайность в последствии		Разность по факторам			
		азотного удобрения	фосфорного удобрения	фон		доза	
				$P_{120}K_{120}$	$N_{120}K_{120}$	азота	фосфора
Естественный	0	3,94	3,60	–	–	–	–
	30	4,26	3,53	–	–	0,32	–0,07
	60	5,26	4,28	–	–	1,32	0,68
	90	5,10	4,17	–	–	1,16	0,57
	120	5,64	4,78	–	–	1,70	1,18
	150	5,47	4,11	–	–	1,53	0,51
	180	5,59	4,49	–	–	1,65	0,89
Удобрённый	0	3,86	3,53	–0,08	–0,07	–	–
	30	3,70	3,50	–0,56	–0,03	–0,16	–0,03
	60	5,05	4,81	–0,21	0,53	1,19	1,28
	90	5,28	5,07	0,18	0,90	1,42	1,54
	120	6,11	5,26	0,47	0,48	2,25	1,73
	150	5,44	5,22	–0,03	1,11	1,58	1,69
	180	4,90	5,17	–0,69	0,68	1,04	1,64
НСР ₀₅ по факторам		–		Fф < Fт		0,42	
НСР ₀₅ для средних		0,85		–		–	

По количеству сырого протеина питательность зернового сорго превосходит кукурузу и равноценна ячменю. Учитывая, что урожайность сорго выше, чем у ячменя, то с одного гектара сорго можно получить в 1,5–2,0 раза больше сырого протеина, чем с 1 га ячменя.

В засушливых условиях 2020 г. в не удобренном контроле содержание сырого протеина в зерне сорго составило 8,1–8,9 % (табл. 6). Под влиянием последствия длительного применения азотного удобрения как отдельно, так и на фосфорно-калийном фоне сформировалось зерно с наиболее высоким значением этого показателя – 9,9–13,6 %. Наименьшую питательную ценность имела зерновая продукция, полученная в последствии внесения одного фосфорного удобрения в высоких дозах, – 120–180 кг/га д.в. Содержание сырого протеина не превышало 2,2–4,1%. Крайне низкие значения показателя обусловлены существенным уменьшением содержанием гумуса в пахотном слое почвы без применения азот-

ных удобрений в течение 45 лет проведения опыта.

Зерно, выращенное во влажных условиях 2022 г., в сравнении с 2020 г. характеризовалось более низким содержанием сырого протеина, что свидетельствует о нехватке легкоусвояемых форм азота для формирования продукции с лучшими показателями качества. Как и в засушливый год, наибольшее содержание в зерне протеина (8,3–10,0 %) отмечено в последствии одного азотного удобрения при невысоком уровне содержания подвижного фосфора в почве – 13–16 мг/кг. В последствии применения одного фосфорного удобрения получено зерно с наименьшими значениями показателя – 6,8–8,0 %. Таким образом, для повышения питательной ценности зерна сорго в разные по погодным условиям годы необходимо оптимизировать азотное питание растений посредством проведения азотной подкормки, что особенно важно в условиях хорошей влагообеспеченности посевов.

Таблица 6. Влияние последействия удобрений на содержание сырого протеина в зерне сорго, %
Table 6. Influence of fertilizers' aftereffect on crude protein percentage in sorghum grain, %

Фон	Доза, кг/га д.в.	Последствие азотного удобрения		Последствие фосфорного удобрения	
		засушливый 2020 г.	влажный 2022 г.	засушливый 2020 г.	влажный 2022 г.
Естественный	0	8,1	8,1	8,9	8,8
	30	13,6	8,7	6,4	7,4
	60	10,2	8,3	8,0	6,8
	90	9,9	9,4	9,3	8,0
	120	10,5	8,7	4,0	7,2
	150	11,2	10,0	2,2	7,8
	180	10,3	8,6	4,1	7,5
Удобрённый	0	10,2	9,1	9,6	6,5
	30	10,3	8,4	10,3	7,8
	60	10,2	7,8	8,0	8,0
	90	12,1	8,2	8,6	8,1
	120	11,0	8,3	7,6	7,5
	150	10,9	8,1	9,4	8,3
	180	11,7	8,0	10,0	7,7
НСР ₀₅		3,71	1,53	3,71	1,53

Выводы. Таким образом, в результате 30 лет применения минеральных удобрений в почве были созданы агрофоны с различным содержанием и соотношением остаточных количеств питательных элементов, влияние которых наблюдалось и в 15-й год изучения последействия при выращивании зернового сорго. Для формирования высокой урожайности сорго в засушливых условиях посева необходимо размещать на почвах с повышенным уровнем содержания фосфора – более 30 мг/кг. Во влажные годы высокой продуктивности культуры можно достичь и на фоне низкой обеспеченности фосфатами, но лишь при улучшении азотного режима почвы. Однако в разные по погод-

ным условиям года наиболее высокий уровень урожайности сорго формируется в последействии полного минерального удобрения или при сбалансированном питательном режиме почвы. Оптимизация азотного питания растений также необходима в целях повышения питательной ценности зерна, особенно в условиях хорошей влагообеспеченности посевов. Полученные результаты могут быть использованы для разработки рекомендаций по повышению агрономической и экономической эффективности выращивания зернового сорго в условиях неустойчивого увлажнения Ставропольского края.

Библиографические ссылки

1. Алабушев А. В., Метлина Г. В., Васильченко С. А. Влияние удобрений на продуктивность сорго зернового в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2011. № 6. С. 49–52.
2. 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. DOI: 10.25685/KRM.2022.59.17.001.
3. Глуховцев В. В., Глуховцева Л. Ф., Антимонов А. К., Антимонова О. Н. Роль сортов сахарного и зернового сорго в укреплении кормовой базы в засушливых условиях Среднего Поволжья и Урала // Известия Оренбургского аграрного университета. 2014. № 3. С. 37–39.
4. Ковтунов В. В. Посевная площадь и урожайность сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2018. № 3 (57). С. 47–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-47-49.
5. Кух М. В., Среда В. И. Влияние удобрений на урожайность сортов сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2014. № 3. С. 55–58.
6. Шаповалова Н. Н., Годунова Е. И. Динамика элементов питания и урожайность культур при последействии длительного применения минеральных удобрений на черноземе обыкновенном // Агрехимический вестник. 2019. № 5. С. 44–50. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10074.
7. Шаповалова Н. Н., Годунова Е. И. Последействие 30-летнего применения минеральных удобрений на продуктивность чернозема обыкновенного Центрального Предкавказья // Плодородие. 2019. № 1(106). С. 11–14. DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.03.
8. Baranovsky A. V., Kosogova T. M., Kapustin S. I., Kapustin A. S. The effect of nitrogen fertilizers on the productivity of grain sorghum // Bioscience research. 2020. Vol. 17, № 1. P. 228–234.
9. Baranovsky A. V., Sadovoy A. S., Kapustin S. I., Kapustin A. S., Stroyny A. M., Golub A. S. Characteristics of consumptive water use of millet and sorghum depending on the sowing time in dry conditions of steppe zone // International journal of ecosystems and ecology science-IJEES. 2022. Vol. 12, № 1. P. 1–6. DOI: 10.31407/ijeess12.101.

References

1. Alabushev A. V., Metlina G. V., Vasil'chenko S. A. Vliyanie udobrenii na produk-tivnost' sorgo zernovogo v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [The effect of fertilizers on grain sorghum productivity in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2011. № 6. S. 49–52.

2. Boiko V.S., Timokhin A. Yu., Volodin A.B., Nizhel'skii T.N. Potentsial produktivnosti sorgo sakharnogo v yuzhnoi lesostepi Zapadnoi Sibiri [Productivity potential of sweet sorghum in the southern forest-steppe of Western Siberia] // Kormoproizvodstvo. 2022. № 4. S. 29–33. DOI: 10.25685/KRM.2022.59.17.001.

3. Glukhovtsev V.V., Glukhovtseva L.F., Antimonov A.K., Antimonova O.N. Rol' sortov sakharnogo i zernovogo sorgo v ukreplenii kormovoi bazy v zasushlivykh usloviyakh Srednego Povolzh'ya i Urala [The role of sweet and grain sorghum varieties in improving the forage base in arid conditions of the middle Volga region and the Urals] // Izvestiya Orenburgskogo agrarnogo universiteta. 2014. № 3. S. 37–39.

4. Kovtunov V.V. Posevnaya ploshchad' i urozhainost' sorgo zernovogo [Sown area and productivity of grain sorghum] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 3 (57). S. 47–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-47-49.

5. Kukh M.V., Sreda V.I. Vliyanie udobrenii na urozhainost' sortov sorgo zernovogo [Effect of fertilizers on grain sorghum varieties' productivity] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2014. № 3. S. 55–58.

6. Shapovalova N.N., Godunova E.I. Dinamika elementov pitaniya i urozhainost' kul'tur pri posledeistvii dlitel'nogo primeneniya mineral'nykh udobrenii na chernozeme obyknovennom [Dynamics of fertilizers and crop productivity under the aftereffect of long-term use of mineral fertilizers on ordinary blackearth] // Agrokhimicheskii vestnik. 2019. № 5. S. 44–50. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10074.

7. Shapovalova N.N., Godunova E.I. Posledeistvie 30-letnego primeneniya mine-ral'nykh udobrenii na produktivnost' chernozema obyknovennogo Tsentral'nogo Predkavkaz'ya [Aftereffect of 30-year use of mineral fertilizers on ordinary blackearth fertility in the Central Pre-Caucasus] // Plodorodie. 2019. № 1 (106). S. 11–14. DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.03.

8. Baranovsky A.V., Kosogova T.M., Kapustin S.I., Kapustin A.S. The effect of nitrogen fertilizers on the productivity of grain sorghum // Bioscience research. 2020. Vol. 17, № 1. P. 228–234.

9. Baranovsky A.V., Sadovoy A.S., Kapustin S.I., Kapustin A.S., Stroyny A.M., Golub A.S. Characteristics of consumptive water use of millet and sorghum depending on the sowing time in dry conditions of steppe zone // International journal of ecosystems and ecology science-IJEES. 2022. Vol. 12, № 1. P. 1–6. DOI: 10.31407/ijeess12.101.

Поступила: 06.02.23; доработана после рецензирования: 17.02.23; принята к публикации: 20.02.23.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Шаповалова Н. Н. – концептуализация исследования, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Володин А. Б. – выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных; Менькина Е. А. – выполнение полевых опытов и сбор данных; Ахмедшина Д. А. – выполнение полевых опытов и сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.