



DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-4-313-325
УДК 633.112.1 «321»:631.8(470.56)

Научная статья / Research article

Последствие предшественников яровой твердой пшеницы на урожайность и содержание калия в почве при долголетних исследованиях на черноземе южном степной зоны Южного Урала

В.Ю. Скороходов 

Федеральный научный центр биологических систем
и агротехнологий российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация
✉ skorohodov.vitali1975@mail.ru

Аннотация. Целью исследования являлось определение влияния предшественников яровой твердой пшеницы на продуктивность и содержание калия в бинарных, монопосевах и шестипольных севооборотах на двух уровнях минерального питания. Информация, полученная в результате долголетних опытов, представляет большой интерес, так как систематическое определение элементов питания в почве дает правильную оценку влияния длительного применения удобрений на почвенное плодородие. Рассмотрено содержание в почве доступных форм калия под посевом яровой твердой пшеницы в зависимости от различных предшественников на двух фонах питания. Лучшими предшественниками твердой пшеницы за 31 год исследования явились черные, почвозащитные и сидеральные пары. Урожайность твердой пшеницы по черному пару с 1 га составила 1,20 т на не удобренном фоне и 1,27 т на фоне с применением удобрений. Увеличению содержания калия в почве способствуют запаханная вегетативная масса возделываемых культур занятых паров и использование минеральных удобрений. Применение минеральных удобрений положительно влияет на продуктивность твердой пшеницы с прибавкой урожайности по почвозащитному пару — 0,10 т, мягкой пшенице — 0,11 т и озимой ржи — 0,13 т с 1 га. По запасам калия в почве севообороты имеют преимущество перед бинарными и монопосевами твердой пшеницы, сопровождающееся увеличением ее урожайности.

Ключевые слова: калий, почва, предшественник, продуктивность, яровая твердая пшеница, севооборот, монопосев, минеральные удобрения, бинарный посев

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

Финансирование. Благодарности. Исследование выполнено в соответствии с планом НИР на 2020—2021 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0003).

История статьи: поступила в редакцию 9 марта 2021 г.; принята к публикации 10 декабря 2021 г.

Скороходов В.Ю., 2021



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

Для цитирования: Скороходов В.Ю. Последействие предшественников яровой твердой пшеницы на урожайность и содержание калия в почве при долготлетних исследованиях на черноземе южном степной зоны Южного Урала // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С.313—325. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-313-325

Effect of forecrop on yield of spring durum wheat and soil potassium in chernozems of southern steppe zone in Southern Urals during long-term research

Vitaly Yu. Skorokhodov 

Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, *Orenburg, Russian Federation*
✉ skorokhodov.vitali1975@mail.ru

Abstract. The goal of the study was to determine the influence of forecrops on spring durum wheat productivity and content of soil potassium in monoculture, double-cropping and six-year crop rotation at two types of nutrient statuses. The information obtained as a result of long-term experiments is of great interest, since systematic determination of nutrient elements in soil gives a correct assessment of the effect of the long-term use of fertilizers on soil fertility. Content of available forms of potassium in soil under spring durum wheat depending on different forecrops and nutrient statuses was studied. The best forecrops for durum wheat in 31-year experiments were black, soil-protecting and green fallows. The yield of durum wheat after black fallow was 1.20 t/ha under fertilization and 1.27 t/ha without using fertilizers. Vegetative mass of cropped fallow ploughed into soil and use of mineral fertilizers led to an increase in content of soil potassium. The use of mineral fertilizers has a positive effect on yield of durum wheat; the yield increase was 0.10 t/ha after soil protecting fallow, 0.11 t/ha after common wheat and 0.13 t/ha after winter rye. Content of soil potassium was higher in six-year crop rotation and it increased durum wheat productivity compared to double-cropping and monoculture.

Key words: potassium, soil, forecrop, productivity, spring durum wheat, crop rotation, monoculture, mineral fertilizers, double-cropping

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

Acknowledgments. The study was carried out in accordance with the research plan for 2020—2021 of Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (No. 0761-2019-0003).

Article history: Received: 9 March 2021. Accepted: 10 December 2021.

For citation: Skorokhodov VY. Effect of forecrop on yield of spring durum wheat and soil potassium in chernozems of southern steppe zone in Southern Urals during long-term research. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(4): 313—325. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-313-325

Введение

Длительное использование черноземных почв при наращивании темпов производства продукции растениеводства в сельском хозяйстве требует оценки баланса питательных веществ в различных агроценозах [1—3].

Важная роль в формировании и поддержании плодородия почвы принадлежит калию [4, 5].

За последние десятилетия в практике сельского хозяйства России резко сократилось внесение удобрений, в т. ч. калийных, и как следствие этого — нарастающее истощение калием пахотных почв, наблюдаемое в разных земледельческих зонах страны [6—8]. Многие ученые отмечают ситуацию спада применения калийных удобрений, приводящую к снижению продуктивности сельскохозяйственных культур и почвенного плодородия [9—11].

Фактор величины урожайности и сельскохозяйственных культур лимитируется недостатком калия в почве [12].

Сельскохозяйственные культуры за ротацию севооборота выносят значительное количество обменного калия, превышая порой почвенные запасы, что является свидетельством реализации ресурсов необменного калия [13].

Оптимальная влажность почвы способствует диффузии ионов калия к корням растений, на долю которой приходится обычно более 75 % от общей миграции почвенного калия. Недостаток почвенной влаги ограничивает миграцию в почве и поглощение калия растениями, что приводит к его дефициту. На доступность калия растениям сильно влияют свойства почвы. В почвах глинистого и тяжелосуглинистого механического состава отмечается высокая калий фиксирующая способность, что снижает отзывчивость растений на внесенные калийные удобрения в результате связывания большей части доступного калия с глинистыми минералами, способствующих снижению его потерь, создавая запас почвенного калия, который будет использован сельскохозяйственными культурами в последствии.

В Оренбургской области при возделывании яровой твердой пшеницы лучшим предшественником по результатам многочисленных исследований является паровое поле [14—17].

Зная поведение обменного калия в различные по увлажнению годы, можно, при наличии долгосрочного прогноза погоды, использовать полученные данные для определения потребности почв в калийных удобрениях.

Динамика содержания обменного калия в почве под сельскохозяйственными культурами в течение вегетационного периода зависит от биологических особенностей возделываемых культур и погодных условий.

В этой связи определение потенциальных почвенных запасов доступного растениям калия, изменение их содержания в многолетней динамике в черноземе южном при его интенсивном сельскохозяйственном использовании позволяет контролировать плодородие почвы, обоснованно и активно вмешиваться в круговорот и баланс питательных веществ в различных агроэкосистемах.

В современных условиях информация, полученная в результате многолетних опытов, представляет большой интерес, так как систематическое определение элементов питания в почве по ротациям севооборота дает правильную оценку влияния длительного применения удобрений на почвенное плодородие [18].

Цель исследования — определить влияние предшественников яровой твердой пшеницы на продуктивность и содержание калия в бинарных, монопосевах и шестипольных севооборотах на двух уровнях минерального питания в течение длительного времени.

Материалы и методы исследования

Объект исследования — яровая твердая пшеница (сорт Оренбургская 21), возделываемая по различным паровым предшественникам и озимой ржи в севооборотах, непаровым — в бинарных и монопосевах.

Схема опыта:

1. Твердая пшеница по озимой ржи (в первом севообороте).
2. Твердая пшеница по черному пару (во втором севообороте).
3. Твердая пшеница по почвозащитному пару (в третьем севообороте).
4. Твердая пшеница по сидеральному пару (в четвертом севообороте).
5. Твердая пшеница по мягкой пшенице (бинарный севооборот).
6. Твердая пшеница по кукурузе на силос (бинарный севооборот).
7. Монопосев твердой пшеницы.

Вид пара и набор культур в севооборотах: в первом — пар черный, озимая рожь, твердая пшеница, кукуруза на силос, мягкая пшеница, ячмень, во втором — пар черный, твердая пшеница, мягкая пшеница, кукуруза на силос, мягкая пшеница, ячмень, в третьем — пар почвозащитный занятый летним посевом суданской травы, твердая пшеница, мягкая пшеница, кукуруза на силос, мягкая пшеница, ячмень, в четвертом — пар сидеральный со смешанным посевом гороха и овса, твердая пшеница, мягкая пшеница, кукуруза на силос, ячмень.

Опыты закладывались в четырехкратной повторности. Общая площадь делянок составляет 648 м², при ширине 7,2 м и длине 90 м. Длина делянок удобренного фона 30 м, неудобренного — 60 м. Учетная площадь уборки яровой твердой пшеницы на удобренном фоне равна 60 м², неудобренном — 120 м².

Агротехника возделывания полевых культур в севообороте — принятая для Центральной зоны Оренбургской области.

Статистическую обработку данных полевого опыта проводили с помощью офисного программного комплекса Microsoft Office и применением программы Excel (Microsoft, США), данные обрабатывали в Statistica 12.0 (Stat Soft Inc, США) методом множественной регрессии.

Результаты исследований и обсуждение

Проведенные длительные исследования имеют большой охват многообразия погодных условий, что является ценным в плане изучения возделывания сельскохозяйственных культур под действием различных метеофакторов и получения наибольшей их продукции высокого качества. В нашем эксперименте мы рассматриваем возможность эффективного возделывания ценной сельскохозяйственной культуры яровой твердой пшеницы по различным предшественникам в шестипольных севооборотах, бинарных и монопосевах с 1990 по 2020 гг.

За годы эксперимента отмечено семь незначительно засушливых (ГТК по Селянинову = 0,8 и более единиц), шесть засушливых (ГТК = 0,6...0,8) и 18 из 31 очень засушливых (ГТК = 0,6 и менее) вегетационных периодов (табл. 1). Две трети (77 %) исследуемых лет были засушливыми и очень засушливыми, с различными видами атмосферной и почвенной засухи, что создавало стрессовую ситуацию для роста и формирования продуктивности яровой твердой пшеницы. Урожайность твердой пшеницы отсутствовала 4 года из 31 по причине засухи, вызванной повышенной температурой воздуха, небольшим количеством или отсутствием атмосферных осадков в период вегетации. За 31 год исследований продуктивность яровой твердой пшеницы выше на фоне с применением минеральных удобрений, т. е. отмечается положительный эффект от их использования. Максимальная урожайность твердой пшеницы на неудобренном фоне питания составила 3,50 т/га в 1994 г., на удобренном — 3,80 т/га в 1993 г. На графике (рис. 1) отчетливо прослеживается зависимость урожайности культуры и ГТК. Кривая урожайности фактически копирует показатель ГТК. Резкие изменения погодных условий создают дополнительную стрессовую ситуацию для произрастания растений, оказывают влияние на микробиологическую жизнедеятельность, накопление и использование питательных элементов (в частности K_2O) в почве.

Таблица 1

Показатель гидротермического коэффициента (ГТК) с его характеристикой и урожайность яровой твердой пшеницы на двух фонах питания (в среднем по всем предшественникам) по годам исследований, сгруппированных по ранжиру засушливости

Характеристика вегетационного периода	Годы эксперимента	ГТК вегетационного периода	Средняя урожайность по фонам питания, т/га	
			Удобренный фон	Неудобренный фон
I —незначительно засушливый (ГТК = 0,8 и более)	1990	0,99	3,23	2,99
	1992	0,89	1,22	1,17
	1994	1,29	3,76	3,50
	1997	0,96	1,99	2,00
	2000	1,51	1,38	1,26
	2003	1,09	1,94	1,77
	2013	0,82	0,94	0,72
II —засушливый (ГТК = 0,6...0,8)	1993	0,76	3,80	3,39
	1999	0,61	1,22	1,10
	2006	0,63	0	0
	2007	0,75	0,83	0,76
	2008	0,70	1,37	1,16
	2019	0,65	0,45	0,44

Окончание табл. 1

Характеристика вегетационного периода	Годы эксперимента	ГТК вегетационного периода	Средняя урожайность по фонам питания, т/га	
			Удобрённый фон	Неудобрённый фон
III – очень засушливый (ГТК = 0,6 и менее)	1991	0,29	1,07	1,13
	1995	0,27	0,54	0,46
	1996	0,38	1,35	1,16
	1998	0,19	0,15	0,15
	2001	0,38	1,02	0,97
	2002	0,46	0,87	0,80
	2004	0,50	0,87	0,76
	2005	0,44	0	0
	2009	0,56	1,26	1,26
	2010	0,15	0	0
	2011	0,59	1,43	1,22
	2012	0,34	0,80	0,71
	2014	0,24	0,09	0,11
	2015	0,57	0	0
	2016	0,33	0,54	0,21
	2017	0,46	1,58	1,64
	2018	0,34	0,37	0,37
2020	0,30	0,80	0,77	

Table 1

Effect of nutrient status and hydrothermal coefficient (HC) on yield of spring durum wheat (on average for all forecrops)

Characteristics of the growing season	Year of experiment	Hydrothermal coefficient	Average yield, t/ha	
			Under fertilization	Without fertilization
I – slightly arid (HC = 0.8 and more)	1990	0.99	3.23	2.99
	1992	0.89	1.22	1.17
	1994	1.29	3.76	3.50
	1997	0.96	1.99	2.00
	2000	1.51	1.38	1.26
	2003	1.09	1.94	1.77
	2013	0.82	0.94	0.72
II – arid (HC = 0.6...0.8)	1993	0.76	3.80	3.39
	1999	0.61	1.22	1.10
	2006	0.63	0	0
	2007	0.75	0.83	0.76
	2008	0.70	1.37	1.16
2019	0.65	0.45	0.44	
III – extremely arid (HC = 0.6 and less)	1991	0.29	1.07	1.13
	1995	0.27	0.54	0.46
	1996	0.38	1.35	1.16
	1998	0.19	0.15	0.15
	2001	0.38	1.02	0.97
	2002	0.46	0.87	0.80
	2004	0.50	0.87	0.76
	2005	0.44	0	0
	2009	0.56	1.26	1.26
	2010	0.15	0	0
	2011	0.59	1.43	1.22
	2012	0.34	0.80	0.71
	2014	0.24	0.09	0.11
	2015	0.57	0	0
	2016	0.33	0.54	0.21
	2017	0.46	1.58	1.64
	2018	0.34	0.37	0.37
2020	0.30	0.80	0.77	

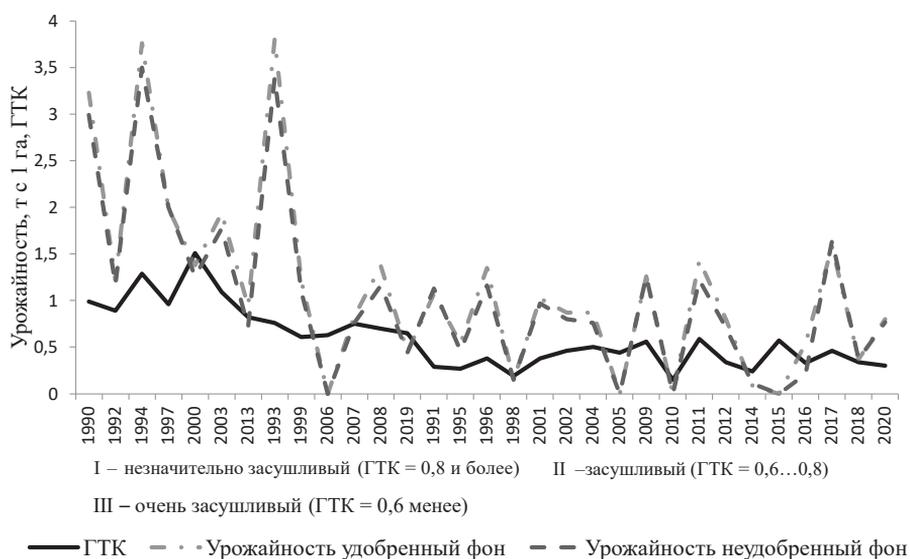


Рис. 1. Зависимость уровня урожайности яровой твердой пшеницы на двух фонах питания от показателя ГТК вегетационного периода по годам исследований (1990–2020 гг.)

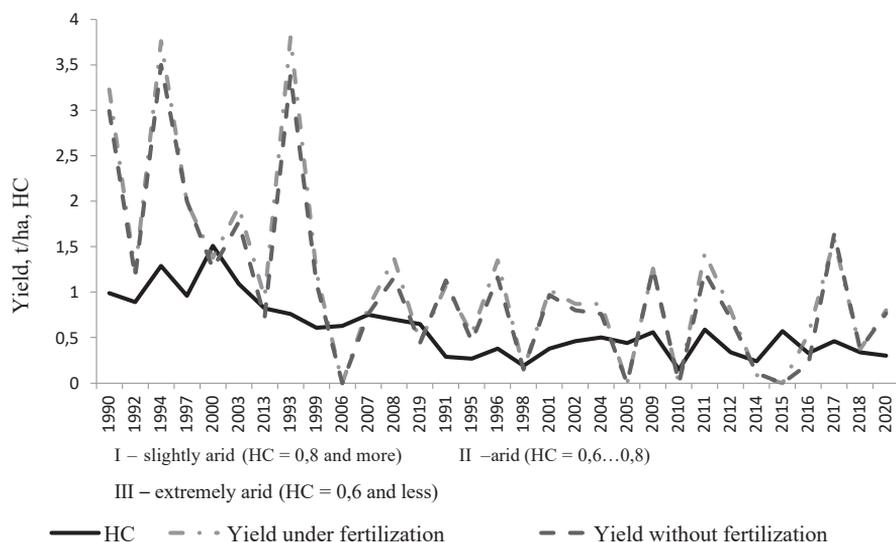


Fig. 1. Effect of hydrothermal coefficient (HC) of the growing season on yield of spring durum wheat depending on nutrient status in 1990–2020

Итоги регрессии урожайности яровой твердой пшеницы в варианте по озимой ржи на двух фонах питания в сопряжении с ГТК вегетационных периодов 1990–2020 гг. свидетельствуют о высоком уровне значимости $P\text{-уров.} = 0,0004$ (табл. 2).

Таблица 2

**Зависимость урожайности яровой твердой пшеницы
по озимой ржи на двух фонах питания от ГТК вегетационного периода 1990–2020 гг.**

Фон питания	№ =25	БЕТТА	Стд. ош.	B	Стд. ош.	t(23)	P-уров.
Удобренный	Св. член			0,0818	0,3378	0,2422	0,8108
	ГТК за вегетацию	0,6489	0,1586	1,9859	0,4855	4,0905	0,0004
		R = 0,64 F(1,23) = 16,73 P < 0,0004					
Неудобренный	Св. член			0,1169	0,2882	0,4055	0,6888
	ГТК за вегетацию	0,6466	0,1590	1,6844	0,4143	4,0651	0,0004
		R = 0,65 F(1,23) = 16,52 P < 0,0004					

Table 2

**Effect of hydrothermal coefficient of the growing season on yield
of spring durum wheat depending on nutrient status in 1990–2020**

Nutrient status	№ =25	Beta	Std Err	B	Std Err	t(23)	P-level
Fertilized	Intercept			0.0818	0.3378	0.2422	0.8108
	HC for growing season	0.6489	0.1586	1.9859	0.4855	4.0905	0.0004
		R = 0.64 F(1.23) = 16.73 P < 0.0004					
Unfertilized	Intercept			0.1169	0.2882	0.4055	0.6888
	HC for growing season	0.6466	0.1590	1.6844	0.4143	4.0651	0.0004
		R = 0.65 F(1.23) = 16.52 P < 0.0004					

Доля влияния фактора ГТК вегетационного периода на урожайность твердой пшеницы на удобренном фоне составляет 65 %, на фоне с использованием минеральных удобрений — 64 %.

Между свежееотобранными (влажными) и высушенными до воздушно-сухого состояния образцами почвы установлены существенные различия в содержании разных форм калия. В образцах почвы при естественной полевой влажности (невысушенных) отмечаются более высокие значения элементов питания по сравнению с высушенными образцами. В наших исследованиях для определения элементов питания в почве использовались высушенные образцы. В табл. 3 приведены среднееголетние данные по урожайности яровой.

Содержание калия в почве под посевами яровой твердой пшеницы и ее урожайность в зависимости от предшественника и фона питания в среднем за 1990–2020 гг.

Показатели		Фон питания	Вариант предшественника твердой пшеницы							
			Озимая рожь	Пар черный	Пар почвозащитный	Пар сидеральный	Мягкая пшеница	Кукуруза на силос	Монопосев твердой пшеницы	
Урожайность	т/га	I	1,20	1,27	1,26	1,26	1,00	1,05	0,87	
		II	1,07	1,20	1,16	1,21	0,89	0,99	0,79	
		разность + или –	+0,13	+0,07	+0,10	+0,05	+0,11	+0,06	+0,08	
	НСП ₀₅ по факторам	A	0,47	0,47	0,47	0,45	0,39	0,41	0,34	
		B	0,40	0,47	0,45	0,46	0,34	0,38	0,30	
		A+B	0,11	0,10	0,08	0,06	0,09	0,11	0,08	
Содержание калия в почве	в начале вегетации	мг на 100 г почвы	I	46,8	44,6	43,9	44,4	39,8	39,7	39,8
			II	43,1	42,2	41,3	42,3	39,5	37,6	38,3
			разность + или –	+3,7	+2,4	+2,6	+2,1	+0,3	+2,1	+1,5
		НСП ₀₅ по факторам	A	2,72	2,93	3,00	3,09	2,35	2,01	2,52
			B	2,68	3,31	3,54	3,37	2,36	2,13	2,24
			A+B	2,31	2,21	2,11	2,36	1,65	1,42	1,89
	в конце вегетации	мг на 100 г почвы	I	44,1	44,4	43,3	40,4	36,7	35,2	35,7
			II	40,7	39,6	39,8	38,3	34,7	34,8	35,0
			разность + или –	+3,4	+4,8	+3,5	+2,1	+2,0	+0,4	+0,7
		НСП ₀₅ по факторам	A	2,80	3,46	3,62	2,52	2,41	2,33	2,38
			B	3,38	2,72	2,99	2,54	2,15	2,46	2,47
			A+B	2,02	2,34	2,40	2,12	1,83	2,01	2,20
Израсходованный калий за период вегетации		I	2,7	0,2	0,6	4,0	3,1	4,5	4,1	
		II	2,4	2,6	1,5	4,0	4,8	2,8	3,3	

Примечание: I – удобрённый фон; II – неудо́ренный

Table 3

Effect of forecrop and nutrient status on potassium content in soil and yield of spring durum wheat (1990–2020)

Indicators		Nutrient status	Forecrop							
			Winter rye	Black fallow	Soil-protecting fallow	Green fallow	Common wheat	Green corn	Durum wheat monoculture	
Yield	t/ha	I	1,20	1,27	1,26	1,26	1,00	1,05	0,87	
		II	1,07	1,20	1,16	1,21	0,89	0,99	0,79	
		difference + or -	+0,13	+0,07	+0,10	+0,05	+0,11	+0,06	+0,08	
	LSD ₀₅ by factors	A	0,47	0,47	0,47	0,45	0,39	0,41	0,34	
		B	0,40	0,47	0,45	0,46	0,34	0,38	0,30	
		A+B	0,11	0,10	0,08	0,06	0,09	0,11	0,08	
Potassium content in soil	Early in growing season	mg/100 g soil	I	46,8	44,6	43,9	44,4	39,8	39,7	39,8
			II	43,1	42,2	41,3	42,3	39,5	37,6	38,3
			difference + or -	+3,7	+2,4	+2,6	+2,1	+0,3	+2,1	+1,5
		LSD ₀₅ by factors	A	2,72	2,93	3,00	3,09	2,35	2,01	2,52
			B	2,68	3,31	3,54	3,37	2,36	2,13	2,24
			A+B	2,31	2,21	2,11	2,36	1,65	1,42	1,89
	Late in growing season	mg/100 g soil	I	44,1	44,4	43,3	40,4	36,7	35,2	35,7
			II	40,7	39,6	39,8	38,3	34,7	34,8	35,0
			difference + or -	+3,4	+4,8	+3,5	+2,1	+2,0	+0,4	+0,7
		LSD ₀₅ by factors	A	2,80	3,46	3,62	2,52	2,41	2,33	2,38
			B	3,38	2,72	2,99	2,54	2,15	2,46	2,47
			A+B	2,02	2,34	2,40	2,12	1,83	2,01	2,20
Potassium absorbed during the growing season		I	2,7	0,2	0,6	4,0	3,1	4,5	4,1	
		II	2,4	2,6	1,5	4,0	4,8	2,8	3,3	

Note. I – Under fertilization; II – Without fertilization

В среднем за 31 год исследований урожайность твердой пшеницы по черному пару составила 1,27 и 1,20 т, по почвозащитному — 1,26 и 1,16 т, по сидеральному — 1,26 и 1,21 т с 1 га соответственно по удобренному и неудобренному фону. Данные (табл. 3) свидетельствуют о преимуществе в содержании К₂O при внесении минеральных удобрений. В варианте твердой пшеницы по озимой ржи весной в среднем за годы исследований аккумулировалось большее количество К₂O на двух фонах питания. Прежде всего, данное обстоятельство связано с дополнительным поступлением растительных остатков озимой ржи в виде соломы, способствующих увеличению запасов калия в почве. Достаточно высокое среди других вариантов опыта среднемноголетнее содержание калия отмечается весной в посевах твердой пшеницы по занятым (почвозащитному 43,9 мг на удобренном, 41,3 на неудобренном фоне, сидеральному 44,4 и 42,3 мг на 100 г почвы соответственно фону) парам. Запаханная вегетативная масса возделываемых полевых культур занятых паров способствует увеличению содержания калия в почве. В период от посева до уборки яровой твердой пшеницы отмечается общее снижение содержания запасов калия на двух фонах питания по всем предшественникам. Наибольшее потребление калия на удобренном фоне по предшественникам: кукуруза на силос — 4,5 мг, мягкая пшеница — 4,1 мг, сидеральный пар — 4,0 мг и монополев твердой пшеницы — 4,1 мг на 100 г почвы.

На неудобренном фоне потребление калия твердой пшеницей в последствии сидерального пара составило 4,0 мг, по мягкой пшенице — 4,8 мг на 100 г почвы. В последствии почвозащитного занятого летним посевом суданской травы пара потребляется за вегетацию небольшое количество калия на двух фонах питания относительно других изучаемых вариантов.

Выводы

1. Возделывание яровой твердой пшеницы по различным предшественникам имеет зависимость от гидротермических условий вегетационного периода. Две трети (77 %) исследуемых лет характеризовались различными видами засухи и были засушливыми и очень засушливыми.

2. Максимальная урожайность яровой твердой пшеницы за годы исследований на удобренном фоне составила 3,50 т, при использовании минеральных удобрений — 3,80 т с 1 га. Применение минеральных удобрений положительно влияет на продуктивность твердой пшеницы с прибавкой урожайности по озимой ржи — 0,13 т, почвозащитному пару — 0,10 т и мягкой пшенице — 0,11 т с 1 га.

3. Севообороты имеют преимущество перед бинарными и монопосевами по запасам калия в почве, сопровождающееся увеличением урожайности твердой пшеницы.

Библиографический список

1. Лукин С.В., Васенев И.И., Цыгуткин А.С. Агроэкологическая оценка многолетней динамики содержания обменного калия в черноземах западной части ЦЧО // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 8. С. 42—46.

2. Баршадская С.И., Квашин А.А., Дереча В.И. Плодородие чернозема обыкновенного и продуктивность основных сельскохозяйственных культур // *Плодородие*. 2011. № 2. С. 36—39.
3. Лазарев В.И., Лазарева Р.И., Ильин Б.С., Боева Н.Н. Калийный режим чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании в различных агроэкосистемах // *Агрохимия*. 2020. № 2. С. 14—19. doi: 10.31857/S000218812002009X
4. Брехов П.Т., Мязин Н.Г. Формы калия в черноземе типичном при многолетнем внесении удобрений // *Агрохимический вестник*. 2012. № 4. С. 5—7.
5. Чекмарёв П.А., Лукин С.В., Сискевич Ю.И., Юмашев Н.П., Корчагин В.И., Хижняков А.Н. Мониторинг калийного режима черноземов ЦЧР // *Достижение науки и техники АПК*. 2011. № 8. С. 3—6.
6. Гамзиков Г.П. Обеспеченность почв калием и эффективность калийных удобрений в земледелии Сибири // *Эколого-агрохимическая оценка состояния калийного режима почв и эффективность калийных удобрений: материалы науч.-практ. конф. М.: ЦИНАО, 2002. С. 85—94.*
7. Конончук В.В., Никитина Л.В. Влияние систематического применения удобрений на баланс калия и некоторые показатели калийного режима светло-каштановой почвы при орошении // *Агрохимия*. 2002. № 6. С. 53—58.
8. Лукин С.М. Калийное состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы и баланс калия при длительном применении удобрений // *Агрохимия*. 2012. № 12. С. 5—14.
9. Шустикова Е.П., Шаповалова Н.Н. Изменение калийного режима чернозема обыкновенного под влиянием систематического внесения минеральных удобрений // *Агрохимический вестник*. 2012. № 2. С. 5—7.
10. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения (практическое руководство). М.: Ледум, 2000. 185 с.
11. Шафронов О.Д., Большова Н.А. Содержание калия в почвах Нижегородской области и применение калийных удобрений // *Плодородие*. 2002. № 2(5). С. 8—9.
12. Мюррелл Т.С. Надо ли применять калийные удобрения? // *Вестник Международного института питания растений*. 2014. № 4. С. 2—4.
13. Скорородов В.Ю. Накопление и использование К₂O посевами яровой твердой пшеницы и озимой ржи в весенне-летний период на черноземах южных Оренбургского Предуралья // *Известия ОГАУ*. 2019. № 6(80). С. 64—69.
14. Бесалиев И.Н., Крючков А.Г. Обеспеченность растений яровой твердой пшеницы азотом в зависимости от условий агротехники и ее урожайность // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016. № 5(61). С. 27—30.
15. Бесалиев И.Н., Тухфатуллин М.Ф. Урожайность сортов твердой пшеницы на фоне различных видов основной обработки почвы в Оренбургском Предуралье // *Известия ОГАУ*. 2009. Т. 1. № 2(21). С. 22—23.
16. Сандакова Г.Н. Твердая пшеница в целинных районах Оренбургского Зауралья: перспективы производства // *Известия ОГАУ*. 2004. № 1. С. 30—31.
17. Скорородов В.Ю. Уровень биологической активности почвы и содержание нитратного азота под посевами яровой твердой пшеницы в последствии черного кулисного пара на черноземах южных Оренбургского Предуралья // *Известия ОГАУ*. 2020. № 3(83). С. 51—56. doi: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-51-57
18. Никитина Л.В. Действие и последствие разных систем удобрения в длительном полевом опыте на калийный режим суглинистой почвы // *Плодородие*. 2015. № 6(87). С. 5—7.

References

1. Lukin SV, Vasenev II, Cigutkin AS. Agroecological evaluation of exchangeable potassium long-term dynamics in chernozems at the western part of Central Chernozemic region of Russia. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2010; (8):42—46. (In Russ.).
2. Barshadskaya SI, Kvashin AA, Dereka VI. Fertility of ordinary chernozem and the yielding capacity of the main agricultural crops. *Plodorodie*. 2011; (2):36—39. (In Russ.).
3. Lazarev VI, Lazareva RI, Ilyin BS, Boeva NN. Potash regime in typical chernozem under its long-term agricultural use in different agroecosystems. *Agrohimia*. 2020; (2):14—19. (In Russ.). doi: 10.31857/S000218812002009X
4. Brekhov PT, Myazin NG. Potassium forms on typical chernozem while long-term application of fertilizers. *Agrochemical Herald*. 2012; (4):5—7. (In Russ.).

5. Chekmarev PA, Lukin SV, Siskevich YI, Yumashev NP, Korchagin VI, Khizhnyakov AN. Monitoring of potassium regime of chernozems in Central Black Earth Region. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2011; (8):3—6. (In Russ.).
6. Gamzikov GP. Soil supply with potassium and the effectiveness of potash fertilizers in agriculture in Siberia. In: *Ecological and agrochemical assessment of the state of the potassium regime of soils and the effectiveness of potash fertilizers: conference proceedings*. Moscow: TsINAO publ.; 2002. p.85—94. (In Russ.).
7. Kononchuk VV, Nikitina LV. The influence of the systematic application of fertilizers on the potassium balance and some indicators of the potassium regime of light chestnut soil during irrigation. *Agrohimia*. 2002; (6):53—58. (In Russ.).
8. Lukin SM. Potassium status and budget in sandy loamy soddy-podsolic soil under long-term fertilization. *Agrohimia*. 2012; (12):5—14. (In Russ.).
9. Shustikova EP, Shapovalova NN. Change in potash regime of ordinary chernozem under the influence of the systematic application of mineral fertilizers. *Agrochemical Herald*. 2012; (2):5—7. (In Russ.).
10. Prokoshev VV, Deryugin IP. *Kalii i kaliinye udobreniya* [Potassium and potash fertilizers]. Moscow: Ledum publ.; 2000. (In Russ.).
11. Shafronov OD, Bolshova NA. Potassium content in soils of the Nizhny Novgorod region and the use of potash fertilizers. *Plodorodie*. 2002; (2):8—9. (In Russ.).
12. Murrell TS. Do I need to use potash fertilizers? *Bulletin of the International Plant Nutrition Institute*. 2014; (4):2—4. (In Russ.).
13. Skorokhodov VY. Accumulation and use of K₂O by spring wheat and winter rye on south chernozems of the Orenburg Preduralye in the spring-summer period. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2019; (6):64—69. (In Russ.).
14. Besaliev IN, Kryuchkov AG. Provision of spring durum wheat with nitrogen in conformity with agrotechnics and its yielding capacity. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2016; (5):27—30. (In Russ.).
15. Besaliev IN, Tukhfatullin MF. The yielding capacity of hard wheat varieties as dependent on soil cultivation practices. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2009; (1):22—23. (In Russ.).
16. Sandakova GN. Prospects of hard wheat growing on the virgin lands of the Ural zone of Orenburg region. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2004; (1):30—31. (In Russ.).
17. Skorokhodov VY. The level of soil biological activity and the content of nitrate nitrogen in soils under spring durum wheat as an aftereffect of coulisse fallow on southern chernozem lands of Orenburg Priuralye. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2020; (3):51—56. (In Russ.). doi: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-51-57
18. Nikitina LV. Effect and aftereffect of different fertilizing systems in a long-term field experiment on the potassium status in clay loamy soddy-podzolic soil. *Plodorodie*. 2015; (6):5—7. (In Russ.).

Об авторе:

Скороходов Виталий Юрьевич — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, пр-т Гагарина, д. 27/1; e-mail: skorokhodov.vitali1975@mail.ru
ORCID0000-0003-4179-7784

About the author:

Skorokhodov Vitaly Yurievich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarina Avenue, Orenburg, 460051, Russian Federation; e-mail: skorokhodov.vitali1975@mail.ru
ORCID 0000-0003-4179-7784