

УДК: 631.82:58.036:633.15:631.559(470.55/.58)

ВЛИЯНИЕ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТРЕССА НА УРОЖАЙНОСТЬ КУКУРУЗЫ НА СИЛОС В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА[§]

© 2024 г. В. Ю. Скороходов*

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН
460000 Оренбург, ул. 9 Января, 29, Россия

*E-mail: skorohodov.vitali1975@mail.ru

В современном земледелии Южного Урала важным агрономическим приемом является противодействие засухе. Особое значение в увеличении кормовой базы имеет возделывание кукурузы на силос, обеспечивающей максимальные урожаи в экстремальных условиях. Целью исследования было определение потенциальных возможностей увеличения урожайности зеленой массы кукурузы на силос при влиянии температурного стресса в сопряжении с пролонгированным действием минеральных удобрений и предшественников в засушливых условиях. Исследование выполнено в центральной зоне Оренбургской обл. с 1993 по 2022 г. на стационарном участке, почва которого относится к черноземам южным карбонатным тяжелосуглинистым с содержанием гумуса 3.2–4.0%. Эксперимент проводили при внесении минеральных удобрений и без них. Содержание в почве нитратного азота определяли ионометрическим методом по Тюрину, подвижного фосфора – по Мачигину, обменного калия – по Масловой. Для определения влажности почвы использовали термостатно-весовой метод. В среднем за 30 лет исследования при возделывании кукурузы на силос в 6-польном севообороте отмечали прибавку урожайности при использовании минеральных удобрений от 0.23 до 0.84 т/га. Ежегодное внесение минеральных удобрений в бессменном посеве кукурузы обеспечивало прибавку урожайности зеленой массы 2.51 т/га. В годы с сильной засушливостью урожайность листостебельной массы на удобренном фоне снижалась в среднем на 1.61 т/га. В очень засушливые годы растения кукурузы потребляли меньше нитратного азота (в 2 и более раза), чем в различные по влажности годы, но при этом возрастало потребление калия.

Ключевые слова: кукуруза на силос, урожайность, минеральные удобрения, температурный стресс, предшественники, бессменный посев, занятый пар, севооборот.

DOI: 10.31857/S0002188124060088, **EDN:** CXFEAQ

ВВЕДЕНИЕ

Одной из самых сложных проблем в современном земледелии Южного Урала является противодействие засухе [1]. В засушливых условиях Южного Урала при недостаточном количестве продуктивной влаги в период вегетации сельскохозяйственных культур, особое значение для увеличения кормовой базы имеет возделывание кукурузы на силос, обеспечивающего максимальные урожаи в экстремальных условиях [2].

В рационе сельскохозяйственных животных значительную долю составляет кукуруза, в том

числе в виде кукурузного силоса. Кукуруза является источником легкодоступной энергии, имеет наибольший суточный прирост органической массы, что делает ее непревзойденной по продуктивности культурой [3]. Кукуруза является высокоурожайной культурой разностороннего использования. В Оренбургской обл. кукурузу возделывают в основном на корм. В 100 кг зеленой листостебельной массы кукурузы в фазе молочно-восковой спелости початков содержится 20 к.е. и 1.5 кг переваримого протеина [4, 5]. Теплолюбивая культура кукурузы начинает прорастать при прогревании почвы до 8–10°C, при этом отмечен замедленный рост и, как следствие, поражение болезнями. Оптимальная температура почвы для всходов кукурузы в полевых условиях – 10–12°C с последующим нарастанием. Для создания единицы сухого

[§] Исследование выполнено в ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН в соответствии с планом НИР на 2022–2024 гг. (FNWZ-2022-0014).

вещества кукурузе требуется меньше влаги в сравнении с пшеницей, овсом и ячменем (транспирационный коэффициент кукурузы – 230–370, пшеницы – 410–420, овса – 460–475, ячменя – 405–410). При этом ввиду высокой урожайности культуры требуется больше влаги на единицу площади [6–8].

Биологические особенности кукурузы и интенсивность развития ее корневой системы обуславливают высокую устойчивость кукурузы к засухе. В первой половине вегетации кукурузы отмечают активный рост корневой системы, когда в верхнем слое почвы содержится достаточно высокое количество влаги. Во второй половине вегетации, как правило, наступают экстремальные условия, и растения за счет хорошо развитых корней обеспечиваются влагой из низлежащих, более увлажненных почвенных слоев [9, 10].

По данным Оренбургского НИИСХ, средняя урожайность зеленой массы кукурузы за 30 лет исследования (1990–2019 гг.) в севообороте составила 22.6, в бессменных посевах – 20.8 т/га (т.е. практически была одинаковой) [11].

Также необходимо отметить, что зависимость роста урожайности от удобрения определяется не только количеством осадков, но и дозой азота [12], и что минеральные удобрения, особенно в высоких дозах, в севообороте и в посевах бессменной кукурузы способствуют подкислению почвы [13, 14]. Цель работы – определить потенциал возможностей увеличения урожайности зеленой массы кукурузы на силос при влиянии температурного стресса и пролонгированном действии минеральных удобрений и предшественников в севообороте в условиях степной зоны Южного Урала.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования проводили в центральной зоне Оренбургской обл., вблизи с. Нежинка, на стационарном опытном (богарном) участке с 1993 по 2022 г. Координаты расположения опытного стационара – 51.775125° с.ш., 55.306547° в.д. Почва стационара относится к черноземам южным карбонатным среднесильным тяжелосуглинистым с содержанием в ней гумуса 3.2–4.0% (в пахотном слое 0–30 см почвы), общего азота – 0.2–0.3%, доступного фосфора – 150–250, обменного калия – 300–380 мг/кг почвы и рН 7.0–8.1.

Схема эксперимента состояла из 6-ти вариантов, в которых кукурузу на силос возделывали в 4-х 6-польных севооборотах (четвертым полем в севообороте), в 2-польном (при чередовании с яровой твердой пшеницей) и в бессменной культуре с 1993 по 2022 г. (табл. 1).

Схема опыта имела вид: 2А × 6В, где А – фон почвенного питания (внесение N40P80K40 и без удобрения) и В – вариант предшественника (севооборот, бессменный посев).

Предшественником посевов кукурузы на силос в 6-польных севооборотах выступала яровая твердая пшеница (после озимой ржи) и яровая мягкая пшеница (после твердой пшеницы с разными видами пара); в двупольном севообороте – чередование с твердой пшеницей. Размеры опытных делянок в 6-польном севообороте – 3.6 × 90 м, из которых 3.6 × 30 м – удобренный фон, 3.6 × 60 м – неудобренный. В 2-польном севообороте и в бессменном посеве кукурузы на силос ширина делянок составляла 7.2 м при той же длине, что и в 6-польных севооборотах.

Таблица 1. Схема опыта при возделывании кукурузы на силос в системе 2-, 6-польного севооборотов и в бессменном посеве

Севооборот, бессменная культура	Номер поля					
	1	2	3	4	5	6
	Культура, пар					
Шестипольный севооборот	пар черный	озимая рожь	твердая пшеница	кукуруза на силос вариант 1	мягкая пшеница	ячмень
	пар черный	твердая пшеница	мягкая пшеница	кукуруза на силос, вариант 2	мягкая пшеница	ячмень
	пар почвозащитный	твердая пшеница	мягкая пшеница	кукуруза на силос, вариант 3	мягкая пшеница	ячмень
	пар занятый сидеральный	твердая пшеница	мягкая пшеница	кукуруза на силос, вариант 4	мягкая пшеница	ячмень
Двупольный севооборот	твердая пшеница	кукуруза на силос, вариант 5	твердая пшеница	кукуруза на силос	твердая пшеница	кукуруза на силос
Бессменный посев	кукуруза на силос, вариант 6	твердая пшеница (вариант 6)		—		

Учет продуктивности кукурузы на силос проводили в период молочно-восковой спелости зерна. На удобренном фоне (по длине делянки 30 м) срезали 2 ряда растений кукурузы, на неудобренном (длина делянки 60 м) — один рядок. Срезанную зеленую массу кукурузы взвешивали на площадочных весах и путем математического расчета приводили к урожайности с 1 га. Технология возделывания кукурузы на силос — принятая для условий Оренбургской обл. При закладке полевых опытов использовали методику Б.А. Доспехова. Опытные делянки располагались систематически в 4-х повторностях во времени и пространстве. Содержание в почве нитратного азота определяли ионометрическим методом по Тюрину, подвижного фосфора — по Мачигину, обменного калия — по Масловой. Для определения влажности почвы использовали термостатно-весовой метод. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Stastica 12.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 2 приведены показатели гидротермического коэффициента (ГТК) по месяцам в годы исследования (с 1993 по 2022 г.), а также ГТК в целом

за вегетационный период года с характеристикой его засушливости по шкале Селянинова. Исходя из этой шкалы, 18 лет из 30-ти отнесены к очень засушливым, когда ГТК <0.6, что составило 60% из всех лет исследования. Незначительно засушливые (ГТК >0.8) вегетационные периоды отмечены в 1993, 1994, 1997, 2000, 2003, 2013 и 2022 гг. (23% из всех лет исследования).

Многолетнее исследование формирования продуктивности листостебельной массы кукурузы было разделено на 2 кластера в зависимости от различий погодно-климатических условий. Первая группа представляла весь период исследования, включавший погодные условия влажных и очень засушливых лет (за 1993–2022 гг.). Второй кластер представлял ряд очень засушливых лет за весь период наблюдений. Большой интерес для науки представляет возможность формирования продуктивности культуры (в нашем случае — кукурузы на силос) в условиях температурного стресса в отсутствии или при небольшом количестве атмосферных осадков и при использовании растениями минеральных удобрений.

Наибольшая урожайность кукурузы на силос без применения минеральных удобрений была получена в варианте возделывания культуры в 6-польном

Таблица 2. Гидротермический коэффициент и характеристика вегетационных периодов (1993–2022 гг.)

Период вегетации полевых культур, месяц		Время эксперимента, годы														
		1993	1994	1995*	1996*	1997	1998*	1999	2000	2001*	2002*	2003	2004*	2005*	2006	2007
ГТК	05	0.24	0.63	0.09	0.61	1.16	0	1.51	2.48	0.29	0.65	1.47	0.24	0.24	0.79	1.05
	06	0.73	1.55	0.28	0.64	0.87	0.26	0.43	2.26	1.01	0.85	1.57	0.72	0.64	0.38	0.57
	07	1.38	2.49	0.42	0.06	1.70	0.16	0.39	1.12	0	0	1.11	0.62	0.79	1.08	1.39
	08	0.67	0.47	0.24	0.16	0.12	0.35	0.11	0.18	0.23	0.35	0.22	0.48	0.11	0.27	0
	май–август	<u>0.81</u> I	<u>1.30</u> I	<u>0.28</u> III	<u>0.35</u> III	<u>0.96</u> I	<u>0.21</u> III	<u>0.61</u> II	<u>1.52</u> I	<u>0.38</u> III	<u>0.46</u> III	<u>1.09</u> I	<u>0.52</u> III	<u>0.45</u> III	<u>0.63</u> II	<u>0.75</u> II
		2008	2009*	2010*	2011*	2012	2013	2014*	2015*	2016*	2017*	2018*	2019	2020*	2021*	2022
ГТК	05	1.21	0.75	0.02	0.95	0.35	0.20	0.14	0.11	0.99	0.74	0.58	0.80	0.55	0.62	2.80
	06	0.51	0.29	0.01	0.67	0.59	0.36	0.64	0.27	0.22	0.71	0.34	0.60	0.36	0.53	0.40
	07	0.68	0.20	0.13	0.35	0.31	1.06	0.08	0.44	0.31	0.48	0.25	0.59	0.09	0.61	0.76
	08	0.40	1.02	0.44	0.39	0.10	1.67	0.13	0.47	0.03	0.06	0.16	0.58	0.19	0.42	0
	май–август	<u>0.70</u> II	<u>0.57</u> III	<u>0.15</u> III	<u>0.59</u> III	<u>0.34</u> III	<u>0.82</u> I	<u>0.25</u> III	<u>0.32</u> III	<u>0.39</u> III	<u>0.50</u> III	<u>0.33</u> III	<u>0.64</u> II	<u>0.30</u> III	<u>0.55</u> III	<u>0.99</u> I

Примечание. Над чертой — показатель ГТК, под чертой — характеристика вегетационного периода (I — незначительно засушливый, ГТК >0.8; II — засушливый, ГТК = 0.6–0.8; III — очень засушливый, ГТК <0.6); *очень засушливый год.

севообороте с занятым сидератами паром и составила в среднем за 30 лет исследования 13.5 т/га (табл. 3). При применении минеральных удобрений максимальная урожайность кукурузной массы была получена в 6-польном севообороте с занятым суданской травой паром (14.3 т/га).

Посевы кукурузы на силос положительно реагировали на применение минеральных удобрений. В среднем за 30 лет исследования при возделывании кукурузы на силос в 6-польном севообороте отмечали прибавку урожайности при применении минеральных удобрений от 0.2 до 0.8 т/га. Ежегодное внесение минеральных удобрений в бес-сменном посеве кукурузы на силос приводило к прибавке урожайности зеленой массы 2.5 т/га. В 2-польном севообороте урожайность кукурузы снижалась на 0.4 т/га на удобренном фоне. Данное обстоятельство, отмеченное в этом севообороте, объясняется большей засоренностью предшественника на удобренном фоне и выносом питательных веществ не культурой, а сеgetальной растительностью. Максимальное пролонгированное действие

минеральных удобрений отмечено в 6-польном севообороте с занятым суданской травой паром (прибавка составила 0.8 т/га). В очень засушливые годы урожайность кукурузы на силос снижалась. В среднем на фоне без удобрений она составила в вариантах от 11.1 до 12.4 т/га. Влияние температурного стресса в засушливые годы проявлялось меньшей прибавкой урожайности культуры при применении минеральных удобрений. Например, прибавка урожайности зеленой массы кукурузы в 6-польном севообороте с занятым суданской травой паром составила 0.1 т/га, что было меньше по сравнению со средней прибавкой, полученной за все годы исследования. Запаханная сидеральная масса в 6-польном севообороте оказывала положительное влияние на продуктивность кукурузы, особенно в острозасушливые годы. В этом варианте в острозасушливые годы прибавка урожайности на удобренном фоне составила 0.5 т/га.

В годы с сильной засушливостью растения кукурузы подвергались различным стрессам. Данное обстоятельство в нашем опыте наблюдали

Таблица 3. Урожайность зеленой массы кукурузы (среднее за 1993–2022 г. и за очень засушливые годы)

Предшественник, севооборот	Показатель	Урожайность зеленой массы кукурузы, т/га					
		средняя за 1993–2022 гг.			средняя за очень засушливые годы		
		фон		прибавка	фон		прибавка
		удобренный	неудобренный		удобренный	неудобренный	
Яровая твердая пшеница в севообороте с озимыми зерновыми	Урожайность, т з.м./га*	13.6 ± 6.4	13.1 ± 5.4	+0.5	10.8 ± 5.3	11.7 ± 4.5	–0.9
	<i>HCP</i> ₀₅	2.7	2.3		2.6	2.3	
Яровая мягкая пшеница в севообороте с черным паром	*	13.9 ± 6.1	13.4 ± 5.6	+0.5	11.7 ± 4.3	11.2 ± 4.1	+0.5
	<i>HCP</i> ₀₅	2.6	2.4		2.2	2.1	
Яровая мягкая пшеница в севообороте с занятым суданской травой паром	Урожайность, т з.м./га	14.3 ± 6.7	13.4 ± 5.6	+0.9	12.5 ± 5.7	12.4 ± 5.4	+0.1
	<i>HCP</i> ₀₅	2.8	2.3		2.9	2.3	
Яровая мягкая пшеница в севообороте с сидеральным паром	Урожайность, т з.м./га	13.8 ± 5.4	13.5 ± 5.8	+0.3	12.5 ± 5.1	12.0 ± 4.5	+0.5
	<i>HCP</i> ₀₅	2.3	2.4		2.6	2.3	
Яровая твердая пшеница в 2-польном севообороте	Урожайность, т з.м./га	12.3 ± 5.6	12.7 ± 5.1	–0.4	10.7 ± 4.1	11.1 ± 3.6	–0.4
	<i>HCP</i> ₀₅	2.4	2.2		2.1	1.8	
Бессменный посев кукурузы на силос	Урожайность, т з.м./га	13.7 ± 5.8	11.2 ± 5.5	+2.5	12.1 ± 5.2	11.1 ± 4.3	+1.0
	<i>HCP</i> ₀₅	2.4	2.3		2.6	2.2	

* з.м. — зеленая масса.

Таблица 4. Влажность почвы под посевами кукурузы в 6-, 2-польном севооборотах и в бессменной культуре в период ее посева и уборки (среднее за 1993–2022 гг. и очень засушливые годы), мм

Период исследования, годы	Время года	Предшественник кукурузы					
		яровая твердая пшеница в 6-польном севообороте с озимыми культурами		яровая твердая пшеница в 2-польном севообороте		бессменный посев кукурузы на силос	
		слой почвы, см					
		0—30	0—100	0—30	0—100	0—30	0—100
1993—2022 гг.	Весна	42.2 ± 14.8	147.7 ± 34.6	39.5 ± 8.9	130.4 ± 34.9	35.6 ± 10.3	130.0 ± 29.5
	Осень	14.5 ± 9.4	57.5 ± 23.5	13.4 ± 11.9	49.8 ± 35.0	15.0 ± 12.0	49.3 ± 26.9
	Расход	—27.7	90.2	—26.1	—80.6	—20.6	—80.7
Очень засушли- вые годы	Весна	41.1 ± 15.9	131.9 ± 39.3	37.7 ± 9.7	75.5 ± 34.5	33.4 ± 8.8	124.3 ± 26.94
	Осень	11.3 ± 5.3	51.0 ± 20.1	10.1 ± 8.0	41.7 ± 31.2	11.7 ± 7.5	41.4 ± 23.0
	Расход	—29.8	—80.9	—27.6	—33.8	—21.7	—82.9

в бессменных посевах кукурузы. В засушливые годы урожайность листостебельной массы культуры на удобренном минеральными удобрениями фоне снижалась в среднем на 1.6 т/га. В связи с этим уменьшалась эффективность минеральных удобрений в засушливые годы, и прибавка урожайности при их применении составляла 1.9 т/га за весь срок исследования, при учете влажных лет она составляла 2.5 т/га.

Возделывание кукурузы после твердой пшеницы в 6-польном и 2-польном севооборотах на удобренном фоне приводило к отрицательному эффекту в очень засушливые годы. Повышение урожайности культуры на фоне без удобрений составляло в 6-польном севообороте 0.9, в 2-польном – 0.4 т/га. Помимо температурного стресса растения кукурузы испытывали и водный стресс. Например, весной в 1-метровом слое почвы в очень засушливые годы запас продуктивной влаги в 2-польном севообороте (после яровой твердой пшеницы) был равен 75.5 мм, что составляло 57.9%

от средних показателей во все годы исследования (130.4 мм) (табл. 4).

В бессменных посевах кукурузы на силос была отмечена небольшая разница (5.7 мм) между запасами продуктивной влаги в разные годы исследования.

В табл. 5 представлено содержание макроэлементов в почве под посевами кукурузы на силос в среднем за весь период исследований и за очень засушливые годы. Под пропашной культурой кукурузы во все годы исследования, включая и очень засушливые, отмечали увеличение содержания нитратного азота в течение летнего периода.

В очень засушливые годы растения кукурузы потребляли меньше нитратного азота (в 2 и более раза), чем в различные по влажности годы. Данное обстоятельство подтверждено нашими исследованиями при возделывании кукурузы в 6-, 2-польном севооборотах и в бессменном посеве на двух фонах почвенного питания. При возделывании кукурузы на силос в 6-польном севообороте в годы

Таблица 5. Содержание макроэлементов под посевами кукурузы на силос при возделывании в 6-, 2-польном севооборотах и в бессменном посеве на двух фонах почвенного питания (среднее за 1993–2022 гг. и за очень засушливые годы), мг/кг почвы

Периоды исследования, годы	Фон питания	Время года	Предшественник кукурузы								
			яровая твердая пшеница в 6-польном севообороте с озимыми			яровая твердая пшеница в 2-польном севообороте			бессменный посев кукурузы на силос		
			N	P	K	N	P	K	N	P	K
1993–2022	Удобрённый	Весна	91.5 ± ± 75.6	58.5 ± ± 14.3	458 ± ± 85.1	93.9 ± ± 52.1	56.9 ± ± 16.9	401 ± ± 60.8	84.7 ± ± 50.2	51.4 ± ± 13.1	352 ± ± 73.6
		Осень	93.9 ± ± 55.5	53.6 ± ± 12.9	439 ± ± 88.1	110 ± ± 103	50.6 ± ± 13.2	368 ± ± 59.1	101 ± ± 90.4	48.3 ± ± 12.5	331 ± ± 82.5
		Расход	+2.4	–4.9	–19.5	+15.7	–6.3	–33.1	+16.0	–3.1	–20.5

Окончание таблицы 5

Периоды исследования, годы	Фон питания	Время года	Предшественник кукурузы								
			яровая твердая пшеница в 6-польном севообороте с озимыми			яровая твердая пшеница в 2-польном севообороте			бессменный посев кукурузы на силос		
			N	P	K	N	P	K	N	P	K
1993–2022 Очень засушливые годы	Неудобренный	Весна	62.6 ± ± 30.5	41.2 ± ± 10.7	417.4 ± ± 91.6	77.6 ± ± 39.2	38.3 ± ± 11.4	381.5 ± ± 56.9	77.5 ± ± 39.2	35.7 ± ± 11.3	345.4 ± ± 64.9
		Осень	89.3 ± ± 59.5	40.1 ± ± 10.5	403 ± ± 94.2	93.0 ± ± 79.9	39.4 ± ± 9.6	360 ± ± 65.6	85.4 ± ± 71.6	38.6 ± ± 12.7	318 ± ± 61.9
		Расход	+26.7	–1.1	–14.7	+15.4	+1.1	–21.4	+7.9	+2.9	–27.7
	Удобренный	Весна	96.1 ± ± 76.7	57.8 ± ± 15.8	459 ± ± 66.6	88.9 ± ± 40.2	59.7 ± ± 15.7	409 ± ± 50.0	77.5 ± ± 30.4	53.6 ± ± 14.0	357 ± ± 61.2
		Осень	102 ± ± 62.9	55.1 ± ± 15.2	420 ± ± 68.1	128 ± ± 115	51.8 ± ± 15.5	370 ± ± 57.3	112 ± ± 79.2	50.7 ± ± 13.7	335 ± ± 80.9
		Расход	+5.8	–2.7	–38.8	+39.2	–7.9	–38.1	+34.3	–2.9	–22.0
	Неудобренный	Весна	64.2 ± ± 30.0	42.7 ± ± 12.1	409 ± ± 62.5	76.6 ± ± 35.3	40.8 ± ± 12.1	375 ± ± 46.0	76.9 ± ± 32.6	39.2 ± ± 11.8	354 ± ± 58.7
		Осень	106 ± ± 67.4	39.9 ± ± 9.2	377 ± ± 67.1	109 ± ± 86.5	40.3 ± ± 10.8	375 ± ± 69.3	100 ± ± 66.8	40.9 ± ± 14.6	334 ± ± 63.4
		Расход	+41.4	–2.8	–31.8	+32.1	–0.5	–0.7	+23.2	+1.7	–19.9

с сильной засушливостью в период с 1993 по 2022 г. культура не использовала 41.4% нитратного азота при внесении минеральных удобрений, что составило 5.8 мг/кг почвы. На неудобренном фоне не было востребовано 64.5% нитратного азота, т.е. к осени его количество увеличивалось до 41.4 мг/кг почвы в сравнении с содержанием весной. Возделывание кукурузы в 2-польном севообороте и бессменном посеве в условиях гидротермического стресса также приводило к накоплению и не использованию нитратного азота.

В годы с сильной засушливостью отмечали увеличение потребления калия растениями кукурузы. В 6-польном севообороте за вегетацию использовалось на удобренном фоне в среднем 38.8 мг калия/кг, на неудобренном — 31.8 мг/кг почвы.

ВЫВОДЫ

1. Посевы кукурузы на силос положительно реагировали на применение минеральных удобрений в условиях Южного Урала. В среднем за 30-летний период исследования при возделывании кукурузы на силос в 6-польном севообороте отмечали прибавку урожайности зеленой массы при внесении минеральных удобрений от 0.23 до 0.84 т з.м./га.

2. Влияние температурного стресса в засушливые годы проявлялось в меньшей прибавке урожайности культуры при применении минеральных удобрений. Например, прибавка урожайности зеленой массы кукурузы в 6-польном севообороте с занятым суданской травой паром составила 0.1 т/га., что было меньше по сравнению со средней прибавкой, полученной за все годы исследования.

3. В очень засушливые годы растения кукурузы потребляли меньше нитратного азота (в 2 и более раза), чем в различные по влажности годы. При этом температурный стресс стимулировал потребление калия растениями кукурузы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скорыходов В.Ю. Урожайность кукурузы на силос в севооборотах и при бессменном возделывании в зависимости от предшественника на двух уровнях интенсификации в степной зоне Южного Урала // Изв. Оренбург. ГАУ. 2020. № 2(82). С. 68–72.

2. Скорыходов В.Ю. Продуктивность звеньев севооборотов с кукурузой на силос и различными видами пара в условиях Оренбургского Предуралья // Изв. Оренбург. ГАУ. 2021. № 1(87). С. 78–85.

3. *Виноградов И.С., Лазарев Н.Н.* Комплексная оценка гибридов кукурузы для производства силоса // Кормопроизводство. 2023. № 1. С. 26–30.
4. *Пестерева Е.С., Павлова С.А., Захарова Г.Е., Кузьмина А.В., Жиркова Н.Н.* Урожайность и питательная ценность кукурузы и ее смесей для заготовки сочных кормов в условиях центральной Якутии // Аграрн. наука. 2018. № 9. С. 54–56.
5. *Аветисян А.Т., Данилов В.П., Мудрова В.Е.* Продуктивность кукурузы и основные приемы ее возделывания в условиях лесостепи Красноярского края // Сибир. вестн. сел.-хоз. науки. 2017. Т. 47. № 6. С. 57–65.
6. *Табаленкова Г.Н., Силина Е.В., Дымова О.В., Далькэ И.В., Головки Т.К.* Формирование урожая и качество зеленой массы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми // Аграрн. наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 5. С. 689–697.
7. *Головки Т.К., Далькэ И.В., Шморгунов Г.Т., Триандафилов А.В., Тулинов А.Г.* Рост растений и продуктивность кукурузы в холодном климате // Рос. сел.-хоз. наука. 2019. № 2. С. 19–23.
8. *Демин Е.А., Еремина Д.В.* Влияние минеральных удобрений и сроков посева на урожайность зеленой массы кукурузы в лесостепной зоне Зауралья // Вестн. Крас. ГАУ. 2020. № 10. С. 27–33.
9. *Табаленкова Г.Н., Дымова О.В., Головки Т.К.* Продуктивность и состав биомассы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми // Аграрн. вестн. Урала. 2020. Т. 194. № 3. С. 57–65.
10. *Цимбаленко И.Н., Гилев С.Д., Копылов А.Н., Ефремов В.П., Лопарева Е.И.* Скороспелая кукуруза — важный резерв системы кормопроизводства засушливого Зауралья // Кормопроизводство. 2022. № 5. С. 8–13.
11. *Скорыходов В.Ю., Кафтан Ю.В.* Продуктивность севооборотов с кукурузой на силос и их экономическая эффективность в степной зоне Южного Урала // Вестн. мясн. скот-ва. 2016. № 4(96). С. 165–170.
12. *Багринцева В.Н., Ивашенко И.Н.* Влияние погодных условий в Ставропольском крае на эффективность доз азотного удобрения на кукурузе // Агрохимия. 2020. № 2. С. 77–83.
13. *Фролова Л.Д., Новиков М.Н.* Биологизация земледелия как фактор оптимизации кормовых севооборотов с кукурузой в Нечерноземной зоне // Агрохимия. 2020. № 4. С. 13–18.
14. *Сидоров А.В., Моисеев А.А., Ивойлов А.В.* Влияние минеральных удобрений на химический состав зерна кукурузы и вынос основных элементов питания в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Агрохимия. 2020. № 9. С. 18–23.

Effect of Prolonged Action of Mineral Fertilizers under Conditions of Temperature Stress on Silage Maize Yield in the Steppe Zone of the Southern Urals

V. Yu. Skorokhodov[#]

*Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the RAS,
ul. January-9 29, Orenburg 460000, Russia*

[#]E-mail: skorokhodov.vitali1975@mail.ru

In modern agriculture in the Southern Urals, an important agronomic technique is to counteract drought. Of particular importance in increasing the feed base is the cultivation of maize for silage, which ensures maximum yields in extreme conditions. The aim of the study was to determine the potential possibilities of increasing the yield of green mass of maize for silage under the influence of temperature stress in conjunction with the prolonged action of mineral fertilizers and precursors in arid conditions. The study was carried out in the central zone of the Orenburg region from 1993 to 2022 on a stationary site with the southern carbonate heavy loamy chernozem soils with a humus content of 3.2–4.0%. The experiment was carried out with and without mineral fertilizers. The content of nitrate nitrogen in the soil was determined by the ionometric method of Tyurin, mobile phosphorus — by Machigin, exchangeable potassium — by Maslova. A thermostatic-weight method was used to determine soil moisture. On average, over 30 years of research, when cultivating maize for silage in a 6-field crop rotation, an increase in yield was noted with the use of mineral fertilizers from 0.23 to 0.84 t/ha. The annual application of mineral fertilizers in permanent sowing of maize provided an increase in the yield of green mass of 2.51 t/ha. In years with severe aridity, the yield of leaf-stem mass on a fertilized background decreased by an average of 1.61 t/ha. In very dry years, maize plants consumed less nitrate nitrogen (by 2 or more times) than in years with different humidity, but at the same time, potassium consumption increased.

Keywords: maize for silage, yield, mineral fertilizers, temperature stress, precursors, permanent sowing, fallow land, turnover.