
РАЗДЕЛ 2

РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 631.82:633.15

КУКУРУЗА (*ZEA MAYS L.*) В МОНОКУЛЬТУРЕ И СЕВООБОРОТЕ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

Стулин А.Ф.

Воронежский филиал, Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы

Изучены в стационарном полевом опыте закономерности действия различных видов, доз и сочетаний минеральных удобрений при длительном (55 лет) их применении в монокультуре кукурузы и десятипольном севообороте (5 ротаций) на продуктивность кукурузы, содержание и запасы углерода. Показано, что в агроэкологических условиях Центрального Черноземья кукуруза способна выдерживать длительное выращивание в монокультуре. Высокая эффективность удобрений достигнута в варианте N₆₀P₆₀K₆₀, где среднегодовая продуктивность зеленой массы и зерна кукурузы превышала контроль без удобрений на 8,8 и 1,29 т/га в севообороте и на 10,1 и 1,32 т/га в монокультуре.

Запасы органического углерода в 0-80 см слое почвы сохранились на очень высоком уровне от 273 до 287 т/га во всех исследованных вариантах опыта и достоверно не различались между собой.

Ключевые слова: кукуруза, монокультура, севооборот, удобрения, длительное внесение, продуктивность, углерод.

CORN (*ZEA MAYS L.*) IN MONOCULTURE AND CROP ROTATION WITH PROLONGED USE OF FERTILIZERS IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

Stulin A.F.

Voronezh Branch, Research Institute of Corn

The regularities of the action of various types, doses and combinations of mineral fertilizers for a long (55 years) have been studied in stationary field experience their application in corn monoculture and ten-field crop rotation (5 rotations) on corn productivity, carbon content and reserves. It is shown that in the agroecological conditions of the Central Chernozem region, corn is able to withstand long-term cultivation in a monoculture. The high efficiency of fertilizers was achieved in the N₆₀P₆₀K₆₀ variant, where the average annual productivity of green mass and corn grain exceeded the control without fertilizers by 8.8 and 1.29 t/ha in crop rotation and by 10.1 and 1.32 t/ha in monoculture. The reserves of organic carbon in the 0-80 cm soil layer remained at a very high level from 273 to 287 t/ha in all the studied variants of the experiment and did not significantly differ from each other.

Key words: corn, monoculture, crop rotation, fertilizers, long-term application, productivity, carbon.

По своим биологическим особенностям кукуруза (*Zea mays L.*) относится к культурам, устойчивым к бессменному возделыванию в монокультуре [2,7], что связано с уникальным комплексом свойств, существенно выделяющих ее среди других растений семейства мятликовых: С₄-тип фотосинтеза и, соответственно, высокая его интенсивность, значительная величина ассимиляционного аппарата, большое содержание хлорофилла, активное дыхание и интенсивный обмен веществ. В США считают, что монокультура кукурузы экономически целесообразна, приводя статистически сопоставимые урожайные данные по этой культуре на удобренном фоне как в монокультуре, так и в севообороте [5].

Согласно результатам исследований на опытных станциях института зернового хозяйства Украины бессменные посева уступают по продуктивности посевам кукурузы, размещаемой по лучшим предшественникам (озимая пшеница, зернобобовые) на 0,4-0,6 т/га, и дают практически равные урожаи (4,2-4,5 т/га) с повторными посевами этой культуры в севообороте. При размещении же кукурузы в севообороте после худших предшественников (подсолнечник, сахарная свекла) продуктивность ее на 0,3-0,9 т/га ниже, чем в бессменных посевах, особенно в засушливые годы [8].

Результаты, полученные в длительных полевых опытах на разных агрохимических фонах в бессменных посевах кукурузы и севооборотах с разной долей их насыщения кукурузой, не позволяют сделать однозначные выводы о размерах выхода продукции с 1 га пашни для определенных почвенно-климатических условий [2,4,5,8,9]. В этой связи целью настоящей работы был анализ результатов многолетних полевых и лабораторных исследований длительного ежегодного применения минеральных удобрений на продуктивность кукурузы, выращиваемой в монокультуре и севообороте, и изменение содержания запасов углерода в выщелоченном черноземе.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в стационарном полевом комплексе Воронежского филиала ФГБНУ ВНИИ кукурузы с географическими координатами: 51°36'480'СШ и 38°58'159'ВД, состоящим из двух длительных опытов Географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации [11]. Десятипольный севооборот (50% зерновых, 20% технических и 30% кормовых культур) в натуре развернут на трех полях, вводимых последовательно одной культурой, и одном поле с монокультурой кукурузы, с площадью каждого поля 1,1 га. Кукуруза в монокультуре возделывается с 1960 г. Это самый длительный опыт с монокультурой кукурузы не только в Российской Федерации, но и в ближнем зарубежье. Поле с монокультурой кукурузы пространственно размещается на расстоянии 12 м от делянок севооборота, площадь между этими полями занимает бессменный чистый пар, который поддерживается в чистом состоянии, сорная растительность уничтожается механическим путем при всходах.

Минеральные удобрения (в форме N_{aa} , $P_{сг}$, K_x) вносят ежегодно осенью под вспашку по схеме, представленной в таблицах. Посевная площадь делянки (4,9 м x 55 м) составляет 269,5 м², учетной - 192,5 м². Повторность трехкратная. Агротехника районированных гибридов кукурузы была общепринятой для лесостепной зоны Центрального Черноземья. Урожайность кукурузы определяли методом сплошного взвешивания. Статистическая обработка результатов (дисперсионный анализ при 5% уровне значимости) проводилась по Б.А. Доспехову [6].

Почва – чернозем выщелоченный (Chernozems Luvic Pachic), среднemosный, малогумусный, тяжелосуглинистый, на покровной карбонатной глине. На момент закладки стационарных опытов в пахотном слое почвы содержалось: гумуса 5,6 %, общего азота 0,24 %, фосфора 0,15 %, калия 2,0 %, $pH_{вод.}$ 6,6 ед.; сумма поглощенных оснований - 38,4 ммоль (+)/100 г почвы, степень насыщенности основаниями превышала 90 %.

Определение содержания органического углерода выполнено в лаборатории почвенных циклов азота и углерода в институте физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН на масс-спектрометре «MAT253» (Tehrni Fihhigah, Германия) с элементным анализатором «Euro EA» (Eurovector, Италия).

Результаты и их обсуждение

Многолетние исследования показали, что погодные условия в период вегетации растений определяли уровень урожайности зеленой массы кукурузы и эффективность удобрений. При этом продуктивность кукурузы больше зависит от осадков вегетационного периода ($r=0,75\pm 0,21$), чем от запаса продуктивной влаги в двухметровом слое почвы к моменту посева. Урожайность зеленой массы кукурузы на неудобренном фоне в среднем за 55 лет составила 22,4 т/га с колебаниями по годам от 12,7 в 2010 г. до 31,7 т/га в 2012 г. (таблица 1).

Таблица 1

Урожайность зеленой массы кукурузы в монокультуре на разных агрохимических фонах в опыте длительностью 55 лет

Вариант	Средняя урожайность за годы проведения опыта	Min-Max	Прибавка		Доля участия удобрений в урожае, %
			т/га	%	
Без удобрений	22,4	12,7-31,7	0	0	0
N ₆₀	28,0	13,5-39,1	5,6	25,0	19,7
P ₆₀	21,8	11,3-31,6	-0,6	-2,7	-2,8
K ₆₀	23,2	11,6-34,8	0,8	3,6	3,4
N ₆₀ P ₆₀	30,4	14,4-45,9	8,0	35,7	26,3
N ₆₀ K ₆₀	29,5	15,3-42,6	7,1	31,7	24,1
P ₆₀ K ₆₀	23,9	13,3-33,8	1,5	6,7	6,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	32,9	14,8-49,8	10,5	46,9	31,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	31,7	15,2-47,9	9,3	41,5	29,3
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀	32,2	15,3-49,0	9,8	43,8	30,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	32,4	15,5-51,1	10,0	44,6	30,9
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	35,9	15,6-55,6	13,5	60,3	37,6
НСР _{0,5}			2,3		

Диапазон варьирования по вариантам опыта был в пределах 19,0-40,0 т/га. Внесение фосфорных и калийных удобрений не оказывало положительного влияния на урожайность зеленой массы кукурузы. При ежегодном внесении фосфорных удобрений (вар. P₆₀) отмечена устойчивая тенденция к снижению урожайности, а в отдельные годы даже достоверное снижение. Длительное внесение суперфосфата под кукурузу объясняется не только неблагоприятным действием одностороннего фосфорного питания, но и снижением уровня использования микроэлементов (в частности цинка), а также накоплением в почве и растениях фтора.

Роль калия при длительном его применении под кукурузу на черноземах требует дальнейшего углубленного изучения, поскольку даже при достаточном обеспечении кукурузы калием в отдельные годы (1984, 2003, 2007) при внесении K₆₀ получены достоверные прибавки урожая зеленой массы (соответственно: 4,2, 5,1, 6,0 т/га).

Эффективность азотного удобрения в значительной степени зависела от условий вегетационного периода. При этом следует учитывать, что осадки, выпадающие за год и весь вегетационный период, не являются показателем влагообеспеченности кукурузы. Для этой культуры важно не только общее количество осадков, но и их оптимальное распределение в течение всей вегетации [1].

В благоприятные по увлажнению 1988, 1997, 2000, 2005, 2007 гг. прибавка урожайности зеленой массы от внесения N_{60} составила: 13,5, 13,6, 10,4, 10,8 и 13,2 т/га, в то время как в засушливые 1971, 1972, 1976, 1984, 2010 гг. – всего лишь 0,7, 0,2, 1,8, 1,6 и 0,4 т/га соответственно.

Анализируя вклад азота, фосфора и калия в формирование прибавки урожайности кукурузы, можно отметить ведущую роль азота в ее повышении (таблица 2).

В годы с ГТК=1,05 внесение N_{60} обеспечило прибавку зеленой массы 6,2-10,1 т/га, в засушливые годы (ГТК=0,58) этот показатель был, соответственно, в пределах 4,3-6,3 т/га. Эффективность азотных удобрений возрастала при совместном внесении с фосфорными, калийными и фосфорно-калийными удобрениями.

Анализ данных 140 полевых опытов с кукурузой, выращиваемой на силос в европейской части России, подтвердил неоспоримое преимущество полного минерального удобрения перед парными сочетаниями в формировании урожайности кукурузы [10]. В среднем за 55 лет прибавка урожайности зеленой массы кукурузы от внесения $N_{60}P_{60}K_{60}$ составила 10,5 т/га. Снижение дозы фосфора до 30 кг/га, равно как и увеличение ее и калия до 120 кг/га в полном удобрении, не изменило величину урожая. При увеличении дозы азота до 120 кг/га в полном удобрении прирост зеленой массы за все годы исследований равнялся 13,5 т/га или 60,3% к неудобренному фону, а к варианту $N_{60}P_{60}K_{60}$ на 0,3 т/га или на 9,1%.

Таблица 2

Эффективность отдельных видов удобрений при внесении под кукурузу в монокультуре, т/га

Урожай зеленой массы на контроле	Прибавка урожая от N на фоне				Прибавка урожая от P на фоне				Прибавка урожая от K на фоне				НСР _{0,5}
	О	P	K	PK	О	N	K	NK	О	N	P	NP	
За все годы исследований, среднее за 55 опытолет													
22,4	5,6	8,6	6,3	9,0	-0,6	2,4	0,7	3,4	0,8	1,5	2,1	2,5	2,3
С недостаточным увлажнением (ГТК=0,58), среднее за 16 опытолет													
17,0	4,3	6,3	5,0	6,2	-0,4	1,6	0,9	2,1	0,4	1,1	1,7	1,6	1,8
С нормальным увлажнением (ГТК=1,05), среднее за 39 опытолет													
24,5	6,2	9,4	7,0	10,0	-0,5	2,7	0,9	3,9	0,9	1,7	2,3	2,9	2,6

Одинаковая схема ежегодного внесения удобрений и применяемых агротехнических приемов при выращивании одного и того же гибрида в монокультуре и севообороте позволило в сопоставимые годы выяснить роль севооборотного фактора в урожайности зеленой массы, сухого вещества и зерна кукурузы за 5 ротаций десятипольного севооборота (таблица 3).

Таблица 3

**Влияние длительного внесения удобрений на продуктивность кукурузы
в монокультуре и 10-польном севообороте (среднее за 5 ротаций), т/га**

Вариант	Монокультура			Севооборот		
	зеленая масса	сухое вещество	зерно	зеленая масса	сухое вещество	зерно
Без удобрений	22,1	5,49	2,81	26,2	6,42	3,42
N ₆₀	5,2	1,33	0,73	4,0	0,92	0,73
P ₆₀	-0,9	0	-0,04	0,4	0,40	0,02
K ₆₀	1,1	0,21	0,01	0,8	0,14	0,04
N ₆₀ P ₆₀	7,7	2,01	1,10	7,4	1,94	1,11
N ₆₀ K ₆₀	6,7	1,72	0,97	4,9	1,03	0,84
P ₆₀ K ₆₀	1,2	0,39	0,10	1,3	0,59	0,13
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	10,1	2,66	1,32	8,8	2,53	1,29
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	9,0	2,34	1,28	8,1	2,24	1,21
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀	9,5	2,73	1,29	8,7	2,60	1,24
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	9,6	2,48	1,35	8,6	2,29	1,21
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	13,2	3,31	1,79	11,5	2,90	1,65
НСР _{0,5}	2,4	0,66	0,32	2,9	0,70	0,35

Примечание: урожайность на контроле без удобрений и прибавки от удобрений

Реакция кукурузы на внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений была одинаковой и не зависела от места ее выращивания. В севообороте на неудобренном фоне урожайность зерна кукурузы составила 3,42 т/га с колебаниями по годам от 1,84 в 1983 г. до 5,08 т/га в 2015 г. В монокультуре средняя урожайность зерна равнялась 2,81 т/га с колебаниями от 1,63 т/га в 1986 г. до 4,42 т/га в 2015 г. Диапазон варьирования прибавки урожайности зерна кукурузы по вариантам опыта за все годы исследований в севообороте в среднем была в пределах 0,73-1,65 т/га, в монокультуре 0,73-1,79 т/га. При внесении полного минерального удобрения в дозе 60 кг/га д.в. урожайность зерна повышалась в севообороте на 38%, в монокультуре прирост был больше – 47%. Урожайность зеленой массы кукурузы за все годы исследований на неудобренном фоне составила в севообороте 26,2 т/га (от 17,4 в 1993 г. до 40,7 т/га в 1973 г.), в монокультуре – 22,1 т/га (от 16,2 до 30,3 т/га в те же годы, что и в севообороте). На неудобренном фоне уровень урожайности по ротациям севооборота составил: в I ротации – 28,4 т/га, II – 25,8, III – 20,5, IV – 31,5, V – 25,0 т/га, что выше, чем в монокультуре: в I-III ротациях на 14%, IV – на 24% и V – на 26%. Интервал изменчивости уровня урожайности по ротациям составил: в севообороте – 11,0 т/га, в монокультуре – 7,4 т/га. Внесение N₆₀ повысило урожай зеленой массы кукурузы в среднем в севообороте на 4,0 т/га, с колебаниями по ротациям от 2,1 т/га во второй до 5,2 в четвертой. В монокультуре средняя прибавка была выше на 30%, а колебания составили от 4,0 т/га во второй до 6,8 т/га в четвертой ротации. Внесение полного минерального удобрения (N₆₀P₆₀K₆₀) повысило урожайность в севообороте на 33,6%, в монокультуре – на 45,7%, что на 12,1% выше.

Прирост урожайности кукурузы за счет севооборотного фактора по вариантам опыта был в пределах 2,4-5,4 т/га зеленой массы, 0,24-1,33 т/га сухого вещества и 0,47-0,67 т/га зерна. Преимущество севооборота наблюдалось даже в том случае, когда в сравнительных вариантах вносили полное минеральное удобрение, что связано, как показали наши исследования, с изменением структуры микробоценоза в монокультуре, способствующей преимущественному развитию микроорганизмов, неспособных в полной мере утилизировать продукты трансформации корневых выделений и аллелопатические вещества, освобождающиеся почвенной микрофлорой из корневых и пожнивных остатков [3, 12].

Результаты определения запасов органического углерода в выщелоченном черноземе (таблица 4) свидетельствуют о высокой устойчивости органического вещества данной почвы.

Таблица 4

**Содержание и запасы органического углерода
в выщелоченном черноземе (среднее±STD)**

Глубина, см	Исходная почва (архивный образец)	Чистый бессменный пар с 1960 г.	Монокультура кукурузы с 1960 г.	
			Без удобрений	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ежегодно
Содержание C _{орг} , %				
0-20	3,19±0,05	3,12±0,12	3,37±0,25	3,42±0,22
20-40	3,12±0,10	3,04±0,10	3,16±0,30	3,21±0,30
40-60	2,22±0,07	2,19±0,51	2,21±0,43	2,47±0,53
60-80	1,54±0,10	1,58±0,28	1,50±0,34	1,55±0,48
Запасы C _{орг} , т/га				
0-20	79,8±1,3	78,0±3,0	82,2±6,1	83,5±5,4
20-40	86,4±2,8	84,2±2,9	87,6±8,3	89,0±8,4
40-60	60,6±1,9	59,8±16,7	60,3±11,8	67,3±14,4
60-80	46,4±3,0	47,6±8,5	45,2±10,4	46,7±14,4
0-80	273,2±4,7	269,6±19,2	275,3±18,8	286,5±22,7

Во всех исследуемых вариантах: исходная почва, бессменный пар, монокультура кукурузы на двух фонах – запасы углерода сохранились на очень высоком уровне – от 270 до 287 т/га и достоверно не различались между собой. Незначительные различия запасов почвенного органического вещества по исследуемым вариантам проявились как тенденция: минимальные запасы углерода обнаружены в бессменном пару, максимальные – в удобренной монокультуре кукурузы. Эти различия были сходными как в пахотном, так и более глубоких слоях почвы.

Выводы

В агроэкологических условиях лесостепи Центрального Черноземья кукуруза способна выдерживать длительное выращивание в монокультуре, урожайность зеленой массы за 55 лет эксперимента на неудобренном фоне составила 22,4 т/га с колебаниями в зависимости от погодных условий вегетационного периода от 12,7 до 31,7 т/га. Наиболее сильное и устойчивое по годам действие оказывало ежегодное внесение N₆₀P₆₀K₆₀.

Повышение урожайности зеленой массы и зерна кукурузы составило в севообороте 8,8 и 1,29 т/га, в монокультуре 10,1 и 1,32 т/га при урожайности на неудобренном фоне в севообороте 26,2 и 3,42 т/га, в монокультуре – 22,1 и 2,81 т/га. прирост урожайности зеленой массы и зерна за счет севооборотного фактора по вариантам опыта был в пределах 2,4-5,4 т/га и 0,5-0,7 т/га. Запасы органического углерода в выщелоченном черноземе во всех вариантах опыта в 0-80 см слое почвы сохранились на очень высоком уровне – от 270 до 287 т/га, что свидетельствует о высокой устойчивости органического вещества данной почвы к изменениям агротехнических приемов.

Список литературы

1. Багринцева В.Н. Кукуруза на Ставрополье. Технология возделывания и урожайность. Ставрополь: АГРУС, 2021. 256 с.
2. Верховцева Н.В. Урожайность кукурузы (*Zea Mays* L.) и микробоценоз ее ризосферы в бесменном посеве и севообороте / Н.В. Верховцева, А.А. Романьчева // Агрохимия. 2015. № 9. С. 87-101.
3. Верховцева Н.В. Изменение количества бактерий и микромицетов в ризосфере *Zea Mays* в условиях длительного опыта / Н.В. Верховцева, А.А. Романьчева, А.Ф. Стулин // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 4. С. 26-28.
4. Гангур В.В. Царица полей в монокультуре / В.В. Гангур // Земледелие. 2010. № 3. С. 27-29.
5. Daberkow S. Comparing continuous corn and corn-soybean cropping systems / S. Daberkow, J. Payne, J. Schepers // Western Economic Forum. Spring. 2008. 13 p.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
7. Кошкин Е.А. Частная физиология полевых культур / Е.А. Кошкин, Г.Г. Гатаулина, А.Б. Дьяков. М.: КолоС, 2005. 344 с.
8. Лебедь Е.М. Удобрение бесменных посевов кукурузы / Е.М. Лебедь, С.М. Крамарев, Л.Г. Подгорная // Кукуруза и сорго. 2002. № 6. С. 8-11.
9. Miles R. The Sanborn field experiment: implications for long-term soil organic carbon levels / R. Miles, S. Brown // Agronomy Journal. 2011. Vol. 103. № 1. P. 268-278.
10. Прошкин В.А. Сравнительная эффективность минеральных удобрений на различных почвах / В.А. Прошкин, А.П. Смирнов // Агрохимия. 1994. № 5. С. 35-38.
11. Реестр аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации. М.; ВНИИА, 2012. Вып. 4. С. 12-19.
12. Stakhurlova L.D. Biodinamics of black soils leached under different agrotechnical practices in long-term field experiments / L.D. Stakhurlova, A.F. Stulin // Russian Agricultural Sciences. 2017. V 43. № 1. P. 35-39.

Стулин Александр Федорович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Воронежский филиал, Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы
396835, Воронежская обл., Хохольский р-он, п. Опытной станции ВНИИК, ул. Чайнова, 13
Телефон: 7-47371-90538
E-mail: stulin_af@mail.ru