

# ПРОДУКТИВНОСТЬ МОНОКУЛЬТУРЫ КУКУРУЗЫ В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ С УДОБРЕНИЯМИ

**Стулин А.Ф.**, кандидат сельскохозяйственных наук  
Воронежский филиал ФГБНУ «ВНИИ кукурузы»  
**Стахурлова Л.Д.**, кандидат биологических наук  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»  
e-mail: opytное@vmail.ru; stakhurlova@rambler.ru

**Аннотация.** Проанализированы результаты многолетнего систематического применения минеральных удобрений на продуктивность кукурузы, выращиваемой в монокультуре и в севообороте. Выявлено, что в условиях лесостепи культура показала высокую устойчивость к бессменному выращиванию. Использование  $N_{60}P_{60}K_{60}$  способствовало повышению урожайности зеленой массы и зерна кукурузы на 8,8 и 1,29 т/га в севообороте и на 10,1 и 1,32 т/га – в монокультуре в среднем за 53 года наблюдений.

**Ключевые слова:** стационарные опыты, кукуруза, монокультура, севооборот, чернозем выщелоченный, удобрения, продуктивность, плодородие.

**Введение.** Кукуруза (*Zea mays* L.) – продовольственная, кормовая и техническая культура, занимающая по размерам посевной площади и сбору зерна третье место в мире после пшеницы и риса. В ряде стран Азии, Африки и Южной Америки она является основной хлебной культурой, которая обладает уникальным комплексом свойств, выделяющих ее среди других растений семейства мятликовых:  $C_4$  – тип фотосинтеза и, соответственно, высокая его интенсивность, значительная величина ассимиляционного аппарата, большое содержание хлорофилла, активное дыхание и интенсивный обмен веществ. Результаты, полученные на разных агрохимических фонах как в севооборотах с разной степенью их насыщения кукурузой, так и в бессменных посевах, не позволяют сделать однозначные выводы о размерах выхода продукции с 1 га пашни для определенных почвенно-климатических условий [1, 4, 7]. В этой связи целью настоящих исследований была оценка и анализ результатов многолетнего длительного систематического применения минеральных удобрений на продуктивность кукурузы, выращиваемой в монокультуре и севообороте.

**Методика эксперимента.** Исследования проводили в стационарном полевом комплексе Воронежского филиала ФГБНУ ВНИИ кукурузы, включенном в реестр Географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации (координаты: 51°36'480"СШ и 38°58'159"ВД) [6]. Десятипольный севооборот (50 % зерновых, 20 % технических и 30 % кормовых культур) развернут на трех полях, вводимых последовательно одной культурой, и на одном поле с монокультурой кукурузы,

с площадью каждого 1,1 га. Кукуруза в монокультуре возделывается с 1960 г. и пространственно размещается на расстоянии 12 м от полянок севооборота. Площадь между полями занимает бессменный чистый пар, всходы сорной растительности уничтожаются механическим способом. Ежегодно осенью проводится вспашка зяби. Минеральные удобрения (аммиачная селитра, гранулированный суперфосфат и калийная соль) вносятся с 1965 г. осенью по 60 кг д.в. на 1 га по восьмерной диагностической схеме Жоржа Вилля, дополненной четырьмя вариантами:  $N_1P_{0,5}K_1$ ;  $N_1P_2K_1$ ;  $N_1P_1K_2$ ;  $N_2P_1K_1$ . Посевная площадь делянки (4,9 м x 55 м) составляет 269,5 м<sup>2</sup>, учетной – 192,5 м<sup>2</sup>. Повторность – трехкратная.

Почва – чернозем выщелоченный среднемощный тяжелосуглинистый, на покровной карбонатной глине, согласно современной классификации почв – агрочернозем глинисто иллювиальный [3]. На момент закладки стационарных опытов в пахотном горизонте содержалось: гумуса – 5,6 %, общего азота – 0,24 %, фосфора – 0,15 %, калия – 2,0 %; рНвод. – 6,6; сумма поглощенных оснований – 38,4 ммоль/100 г почвы, степень насыщенности почв основаниями превышала 90 %.

Агротехника районированных гибридов кукурузы – общепринятая для лесостепной зоны Центрального Черноземья. Определение водно-физических свойств почвы проводили в мае – июне: влажность (W) – термодинамическим методом, плотность почвы (ρ) – буровым методом, водопроницаемость ( $K_f$ ) – методом трубок с переменным напором, сопротивление пенетрации ( $P_{pen}$ ) – пенетрометром Качинского с коническим плунжером. Коэффициент структурности ( $K_{структ}$ ) – по Саввину. Урожайность определяли методом сплошного учета с применением дисперсионного анализа [9].

**Обсуждение результатов.** Черноземы занимают около 80 % ЦЧР и являются основным пахотным фондом РФ. Исследуемые почвы имеют вполне благоприятные физические свойства. Изучение режима влажности в посевах кукурузы проводили в течение 16 лет до глубины 2 м из пяти скважин в двух повторениях опыта при посеве, в период выметывания метелок и восковой спелости зерна. Наибольший расход влаги установлен из верхнего 0–60 см слоя в период «посев – выметывание», в среднем за годы исследований – 65 % от общего расхода влаги. Из слоя 60–100 см – в среднем 19 %. На долю слоя почвы ниже одного метра приходилось около 15 %. В снабжении растений влагой во вторую половину вегетации кукурузы повышается участие более глубоких слоев почвы: слоя 60–80 см – до 31 % и 100–200 см – до 27 %. Установлено, что уровень урожайности культуры больше зависел от осадков вегетационного периода ( $r = 0,75 \pm 0,21$ ), чем от запаса продуктивной влаги в двухметровом слое почвы к моменту по-

сева. Ежегодное внесение  $N_{60}P_{60}K_{60}$  снижает коэффициент водопотребления кукурузы на 23–25 %. Наибольшие различия в содержании влаги (W) отмечены в верхнем слое бесменного чистого пара и лесополосы – 6 и 31 % соответственно; в посевах кукурузы этот показатель составил 8–11 %. Показатели плотности почвы (P) независимо от условий землепользования существенно не различались, лишь под лесополосой она характеризовалась минимальными значениями – от 0,9 до 1,5 г/см<sup>3</sup> в слое 0–10 и 70–80 см соответственно. Отмечена общая тенденция увеличения плотности почвы с глубиной.

Для агрономической характеристики почвы важное значение имеет ее водопроницаемость. От этого свойства зависит степень восприятости почвой атмосферных осадков, формирование поверхностного и внутрипочвенного стока воды. Низкая плотность почвы и провальная фильтрационная способность (480 и 43 мм/мин) в слоях почвы 0–10 и 10–20 см в лесополосе свидетельствует о восстановлении ее агрегатной структуры, в первую очередь, за счет регулярного поступления свежего органического вещества, на что указывает коэффициент структурности, который был наименьшим в бесменном чистом пару и максимальным – в лесополосе.

Сопротивление пенетрации указывает на величину уплотнения и в значительной степени зависит от гранулометрического и агрегатного состава, а также влажности почвы. В наших исследованиях величина сопротивления

пенетрации по всему изучаемому профилю не превышала критических величин – менее 3 МПа ( $\approx 30$  кг/см<sup>3</sup>) (табл. 1). Для верхних горизонтов почвы она зависит не только от естественных факторов, но и от активного антропогенного воздействия (работа сельскохозяйственной техники). Этим и объясняется высокая вариабельность этого показателя. С глубины 30 см и ниже значения сопротивления пенетрации связаны только с морфологическими особенностями почв. По коэффициенту структурности агрегатное состояние поверхностных горизонтов (0–10 и 10–20 см) исследованных почв ранжируется в следующей последовательности: отличное/хорошее – отличное/отличное – хорошее/неудовлетворительное – отличное/отличное (соответственно, кукуруза без удобрений – кукуруза с удобрениями – чистый бесменный пар – лесополоса). Данный ряд тесно коррелирует с поступлением свежего органического вещества, которое максимально в черноземах под лесополосой, далее – почвы под монокультурой кукурузы с ежегодным внесением удобрений, затем – монокультура кукурузы без удобрений и бесменный чистый пар.

Ранее проведенными исследованиями показано, что черноземы выщелоченные стационарного участка оцениваются как малогумусные. При отсутствии растительных остатков, как основного источника формирования гумусовых веществ (бесменный чистый пар) и их незначительном поступлении при бесменном выращивании

кукурузы на необогащенном фоне, количество гумуса снизилось более чем на 0,6 % в слое 0–20 см. Основными причинами реальных потерь почвенного органического вещества является усиление минерализационных процессов в результате интенсивной обработки почв [8]. Возделывание кукурузы в севообороте сдерживало потери гумуса, однако, для оптимизации гумусного состояния основным условием является использование удобрений. Так, на фоне ежегодного внесения  $N_{60}P_{60}K_{60}$  содержание гумуса не отличалось от исходного значения. Севооборот и полное минеральное удобрение усиливали процесс гумификации. Во всех изучаемых вариантах коэффициент гумификации Кгум, определяемый как соотношение показателей активности почвенных ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы, составил 1,1–1,8, в отличие от бесменного чистого пара – < 1, что указывает на процессы деструкции молекул гумуса [8].

Содержание и круговорот углерода в почве мало изучены по сравнению с наземной частью фитоценозов, несмотря на то, что основные запасы углерода сосредоточены в органическом веществе и карбонатных новообразованиях [4]. Наибольшее содержание органического углерода в агрочерноземе

Таблица 1. Водно-физические свойства черноземов выщелоченных при различном землепользовании

Вариант	Показатели	Слой, см							
		0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	70–80	100–110
Монокультура кукурузы, без удобрений	W, %	8,1	20,8	20,2	23,6	23,0	25,0	20,3	19,7
	P, г/см <sup>3</sup>	1,3	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,7	1,8
	ВП, мм/мин	12,5	1,0	2,3	2,3	5,0	11,0	4,3	4,6
	Кструкт.	5,3	1,2	0,4	1,9	2,2	1,5	не опр.	не опр.
Монокультура кукурузы, $N_{60}P_{60}K_{60}$ ежегодно	W, %	11,3	20,9	20,9	23,0	21,8	21,3	19,9	16,2
	P, г/см <sup>3</sup>	1,4	1,6	1,6	1,5	1,5	1,6	1,8	1,9
	ВП, мм/мин	10,0	1,0	2,0	3,1	6,2	7,0	3,3	1,0
	Кструкт.	2,4	1,6	1,6	5,5	3,2	3,3	не опр.	не опр.
Бесменный пар	W, %	6,0	17,2	18,3	24,5	23,9	24,1	22,6	18,0
	P, г/см <sup>3</sup>	1,2	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8
	ВП, мм/мин	9,3	1,0	1,2	4,0	15,0	7,2	4,3	3,1
	Кструкт.	1,1	0,3	0,8	2,0	6,1	3,6	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
	ВП, мм/мин	48,0	43,0	9,3	14,0	15,3	12,3	3,0	2,0
	Кструкт.	5,4	2,2	5,0	4,4	2,3	2,3	не опр.	не опр.
Лесополоса	W, %	30,7	27,4	27,6	25,8	23,8	23,2	21,5	20,0
	P, г/см <sup>3</sup>	0,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5		

находилось в пахотном слое. В архивном почвенном образце, отобранном до закладки стационара, содержалось 3,19 %, в бессменном чистом пару (с 1960 г.) – 3,12 %, в монокультуре кукурузы на неудобренном фоне и при ежегодном внесении  $N_{60}P_{60}K_{60}$  – 3,37 и 3,42 %, соответственно, с дальнейшим его снижением по профилю почвы. В слое почвы 60–80 см существенных различий содержания  $C_{орг}$  по изучаемым вариантам не было. Запасы углерода в агрочерноземе указывают на высокую устойчивость органического вещества данной почвы к изменениям агротехнических приемов: величины запасов углерода в слое почвы 0–80 см сохранялись на очень высоком уровне – от 270 до 287 т/га и достоверно не различались между собой. Запасы неорганического углерода были незначительны и составляли всего лишь 1,5–2,3 т/га. После 50-летнего выращивания кукурузы в монокультуре углерод, поступивший из растений кукурузы, составил 5,0 % от общих запасов органического вещества почвы в слое 0–20 см и менее 0,4 % в слое 60–80 см. Такая низкая скорость обновления углерода связана с его высокими запасами в черноземных почвах.

Определение глубины проникновения углерода, происходящего от фотосинтеза типа  $C_4$ , методом идентификации фитолитов кукурузы в профиле агрочерноземов под монокультурой кукурузы составляло всего 2–3 % от всего фитолитного комплекса. Это объясняется ничтожно малым промежутком времени произрастания растений кукурузы по сравнению с общим почвообразовательным процессом [4]. Количество фитолитов культуры в слоях почвы 0–20 и 20–40 см практически одинаково. При этом фитолиты, характерные для растений кукурузы (крестообразные и дву- и трилопастные формы) в слое 80–100 см отсутствуют, что указывает на то, что нижняя граница аккумуляции «молодого» углерода в агрочерноземах находится в слое 60–80 см.

Урожайность зеленой массы кукурузы на неудобренном фоне в среднем за 53 года исследований составила 22,4 т/га, с колебаниями по годам: от 12,7 в 2010 г. до 31,7 т/га в 2012 г. (табл. 2). Диапазон варьирования по вариантам опыта был в пределах 19,0–42,6 т/га. Внесение фосфорных и калийных удобрений не оказывало положительного влияния на урожайность зеленой массы. При ежегодном внесении  $P_{60}$  отмечена устойчивая тенденция к снижению урожайности, а в отдельные годы даже достоверное снижение продуктивности, что связано не только с неблагоприятным действием одностороннего фосфорного питания, но и со снижением уровня использования микроэлементов (в частности, цинка).

Эффективность азотного удобрения в значительной степени зависела от погодных условий вегетационного периода. В благоприятные по увлажнению и равномерности выпадения осадков годы (1988, 1997, 2000, 2005, 2007) прибавка урожая зеленой массы кукурузы от внесения  $N_{60}$  составила, соответственно, 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; 0,4 т/га соответственно. Анализ многолетних исследований свидетельствует, что азотные удобрения необходимо вносить совместно с фосфорными и калийными. При внесении  $N_{60}P_{60}K_{60}$  прирост урожайности почти удваивается по сравнению с вари-

Таблица 2. Урожайность зеленой массы кукурузы в монокультуре на разных агрохимических фонах в опыте длительностью 53 года

Вариант	Средняя урожайность за все годы исследований	Диапазон изменчивости урожайности	Прибавка	
			т/га	%
Без удобрений	22,4	12,7–31,7	0	0
$N_{60}$	28,1	12,9–45,3	5,7	25,4
$P_{60}$	22,0	9,1–35,0	-0,4	-1,8
$K_{60}$	23,3	9,1–37,7	0,9	4,0
$N_{60}P_{60}$	30,5	13,8–48,1	8,1	36,2
$N_{60}K_{60}$	29,6	14,9–45,6	7,2	32,1
$P_{60}K_{60}$	24,1	9,8–39,7	1,7	7,6
$N_{60}P_{60}K_{60}$	33,0	14,2–49,3	10,6	47,3
$N_{60}P_{30}K_{60}$	31,8	14,6–49,9	9,4	42,0
$N_{60}P_{120}K_{60}$	32,3	14,7–45,0	9,9	44,2
$N_{60}P_{60}K_{120}$	32,5	14,9–49,7	10,1	45,1
$N_{120}P_{60}K_{60}$	36,1	15,0–57,6	13,7	61,2
$HCP_{0,5}$			2,4	

Таблица 3. Влияние длительного внесения удобрений на продуктивность кукурузы в монокультуре и 10-польном севообороте, т/га (среднее за 5 ротаций)

Вариант	Кукуруза в монокультуре			Кукуруза в севообороте		
	зерно	зеленая масса	сухое вещество	зерно	зеленая масса	сухое вещество
Без удобрений	2,81	22,1	5,49	3,42	26,2	6,42
$N_{60}$	0,73	5,2	1,33	0,73	4,0	0,92
$P_{60}$	-0,04	-0,9	0	0,02	0,4	0,40
$K_{60}$	0,01	1,1	0,21	0,04	0,8	0,14
$N_{60}P_{60}$	1,10	7,7	2,01	1,11	7,4	1,94
$N_{60}K_{60}$	0,97	6,7	1,72	0,84	4,9	1,03
$P_{60}K_{60}$	0,10	1,2	0,39	0,13	1,3	0,59
$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,32	10,1	2,66	1,29	8,8	2,53
$N_{60}P_{30}K_{60}$	1,28	9,0	2,34	1,21	8,1	2,24
$N_{60}P_{120}K_{60}$	1,29	9,5	2,73	1,24	8,7	2,60
$N_{60}P_{60}K_{120}$	1,35	9,6	2,48	1,21	8,6	2,29
$N_{120}P_{60}K_{60}$	1,79	13,2	3,31	1,65	11,5	2,90
$HCP_{0,5}$	0,32	2,4	0,66	0,35	2,9	0,70

Примечание: урожайность в контроле без удобрений и прибавки от удобрений

антом, где вносили только  $N_{60}$ . В среднем за 53 года наибольшей прибавка зеленой массы кукурузы от внесения  $N_{60}P_{60}K_{60}$  составила 47,3 % по сравнению с контролем.

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

Реакция культуры на внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений была одинаковой и не зависела от

места ее выращивания. В севообороте на неудобренном фоне урожайность зерна составила 3,42 т/га, с колебаниями по годам от 1,84 (1983 г.) до 5,08 т/га (2015 г.), а в монокультуре – 2,81 т/га, с колебаниями от 1,63 т/га (1986 г.) до 4,42 т/га (2015 г.).

Диапазон варьирования прибавки урожайности зерна кукурузы по вариантам опыта за все годы исследований в севообороте в среднем был в пределах 0,73–1,65 т/га, в монокультуре – 0,73–1,79 т/га. При внесении полного минерального удобрения (по 60 кг/га д.в.) урожайность повышалась в севообороте на 38 %, в монокультуре – на 47 %. Урожайность зеленой массы на неудобренном фоне за годы исследований в среднем составила в севообороте 26,2 т/га (от 17,4 в 1993 г. до 40,7 т/га в 1973 г.), в монокультуре в те же годы – 22,1 т/га (от 16,2 до 30,3 т/га). 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 и V – 25,0 т/га, что выше, чем в монокультуре: в I–III ротациях – на 14 %, IV – на 24 % и V – 26 %. Интервал изменчивости урожайности по ротациям составил 11,0 т/га в севообороте, 7,4 т/га в монокультуре – . Внесение  $N_{60}P_{60}K_{60}$  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 т/га – в четвертой. В монокультуре средняя прибавка была выше на 30 %, а колебания варьировали от 4,0 т/га во второй до 6,8 т/га в четвертой ротации. Внесение полного минерального удобрения ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) повысило урожайность в севообороте на 33,6 %, в монокультуре – на 45,7 %, что на 12,1 % выше.

Прирост урожайности за счет севооборотного фактора по вариантам опыта отмечен в пределах 2,3–5,4 т/га зеленой массы, 0,31–1,16 т/га сухого вещества и 0,47–0,67 т/га зерна. Преимущество севооборота наблюдалось даже в том случае, когда в сравнительных вариантах вносили полную норму минерального удобрения. Это связано с изменением структуры микробиоценоза в монокультуре, способствующей преимущественному развитию микроорганизмов, не способных утилизировать продукты трансформации корневых выделений и аллелопатические вещества, осваиваемые почвенной микрофлорой из корневых и пожнивных остатков [2].

**Заключение.** В агроэкологических условиях лесостепи Центрального Черноземья кукуруза способна выдерживать длительное выращивание в монокультуре. Урожайность зеленой массы за 53 года эксперимента на неудобренном фоне составила 22,4 т/га с колебаниями в зависимости от погодных условий от 12,7 до 31,7 т/га. Наиболее сильное и устойчивое по годам действие оказывало ежегодное внесение  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . Повышение урожайности зеленой массы и зерна кукурузы было в севообороте 8,8 и 12,9 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. Приросты урожайности зеленой массы и зерна за счет севооборотного фактора по вариантам опыта варьировали в пределах 2,3–5,4 т/га и 0,5–0,7 т/га. Севооборот и ежегодное внесение полного минерального удобрения сдерживали потери гумуса и усиливали процесс гумификации, коэффициент которой составил 1,28–1,44, в отличие от чистого бессменного пара, где он был < 1.

Применение удобрений способствовало незначительному повышению актуальной и гидролитической кислотности. Определение содержания органического углерода в черноземах показало, что его запасы в слое 0–80 см в течение опыта сохранились на очень высоком уровне – от 273 до 287 т С/га во всех исследуемых вариантах и достоверно не различались между собой, что свидетельствует о высокой устойчивости органического вещества данных почв к изменениям агротехнических приемов.

#### Список использованной литературы

1. Верховцева, Н.В. Урожайность кукурузы (*ZEA MAYS* L.) и микробиоценоз ее ризосферы в бессменном посеве и севообороте / Н.В. Верховцева, А.А. Романычева // *Агрохимия*. - 2015. - № 9. - С. 87-101.
2. Верховцева, Н.В. Изменение количества бактерий и микромицетов в ризосфере *Zea mays* в условиях длительного опыта / Н.В. Верховцева, А.А. Романычева, А.Ф. Стулин // *Проблемы агрохимии и экологии*. - 2017. - № 4. - С. 26-28.
3. Громовик, А.И. Агрочернозем глинисто-иллювиальный сильногумусированный среднемощный среднепахотный тягелосуглинистый / А.И. Громовик, Л.Д. Стахурлова, Ю.Ю. Терентьева и др. В кн.: *Красная книга почв Воронежской области*. - Воронеж, 2022. - С. 269-270.
4. Ларионова, А.А. Распределение стабильных изотопов углерода в агрочерноземе при смене растительности с С3 типом фотосинтеза на монокультуру кукурузы / А.А. Ларионова, А.Ф. Стулин, О.Г. Занина О.Г. и др. // *Почвоведение*. - 2012. - № 8. - С. 863-874.
5. Miles, R. The Sanborn field experiment: implications for long-term soil organic carbon levels / R. Miles, J. Brown // *Agronomy Journal*. - 2011. - vol. 103. - № 1. - P. 268-278.
6. Реестр аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации. - М., 2012. - С. 12-19.
7. Скороходов, 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 / В.Ю. Скороходов // *Известия Оренбургского ГАУ*. - 2020. - № 2. - С. 68-71.
8. 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.
9. Стахурлова, Л.Д. Методы статистической обработки данных в почвоведении / Л.Д. Стахурлова, А.И. Громовик. - Учебно-метод. пособие. - Воронеж, 2019. - 59 с.

#### Productivity of maize monoculture in long-term experience with fertilizers

Stulin A.F., Stakhurlova L.D.

**Summary.** *The analysis of the results of long-term lasting systematic application of mineral fertilizers on the productivity of maize grown in monoculture and crop rotation is given. It was revealed that in the conditions of the forest-steppe, the maize grain showed high resistance to permanent cultivation. The use of  $N_{60}P_{60}K_{60}$  contributed to an increase in the yield of green mass and maize grain by 8.8 and 1.29 t/ha in crop rotation and by 10.1 and 1.32 t/ha in monoculture on average over 53 years of observations.*

**Key words:** *stationary experiments, maize, monoculture, crop rotation, leached black soil, fertilizers, productivity, soil fertility.*