

A. M. Nakaryakov, A. A. Zavalin, Doctor of Agricultural Sciences
Federal State Research Institute of Agrochemistry

In a field experiment on light gray forest soil, the effectiveness of the use of biodynamic preparations (BDP), Extrasol and organo-mineral fertilizer (OMU) on winter wheat of the Moskovskaya 39 variety was studied. Their use increases the grain yield by 0.46 t / ha or by 20% in relation to the control. Extrasol and OMU increase the protein content in the grain by 1.0-1.2% and the crude gluten content by 3.8...4.8, as a result of which the grain quality corresponds to class 3. The drugs do not affect the IDC index, extensibility and hydration of gluten. When using biological products and WMD, the accumulation of nitrogen and phosphorus in the crop increases by 1.2...1.3 times, and potassium-by 1.1...1.2 times. Biologics and WMD do not change the amount of grain created by 1 kg of phosphorus and potassium consumed, and the amount of grain created by 1 kg of nitrogen consumed is reduced when using Extrasol and WMD. Due to the symbiotic nitrogen of clover and the associative one, when using biological products, a positive nitrogen balance is formed, and the balance of phosphorus and potassium is negative. When applying WMD, the negative values of the balance of the Republic of Kazakhstan are reduced by half, but to compensate for these elements, it is necessary to apply organic fertilizers in the crop rotation. When using Extrasol both separately and in combination with BDP and when introducing WMD, the conditions of nitrogen and phosphorus nutrition of plants are improved. The maximum profit in the production of winter wheat grain is obtained by using Extrasol.
Key words: winter wheat, biological products, organo-mineral fertilizer, yield, grain quality, accumulation of food elements.

УДК 631.82:633.15

DOI: 10.25680/S19948603.2021.121.09

УДОБРЕНИЕ БЕССМЕННЫХ ПОСЕВОВ КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

А.Ф. Стулин, к.с.-х.н., Воронежский филиал ФГБНУ ВНИИ кукурузы
Воронежская обл., Хохольский р-н, п. опытной станции ВНИИК, ул. Чайнова, 13, 396835, Россия
e-mail: stulin_af@mail.ru.

Изучена в стационарном полевом опыте продуктивность кукурузы в бессменном посеве при длительном внесении удобрений. Высокая эффективность удобрений достигнута при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$, что увеличивает среднегодовую урожайность зеленой массы кукурузы на 47,3 %, при 22,4 т/га на неудобренном фоне. Запасы органического углерода в слое 0-80 см сохранились на очень высоком уровне – от 273 до 287 т/га во всех исследованных вариантах опыта и достоверно не различались между собой. Определены вынос и баланс питательных веществ и возврат в почву азота, фосфора и калия с корневыми и пожнивными остатками кукурузы.

Ключевые слова: кукуруза, бессменный посев, удобрения, длительное внесение, урожайность, углерод, вынос питательных веществ.

Для цитирования: Стулин А.Ф. Удобрение бессменных посевов кукурузы в условиях Центрального Черноземья // Плодородие. – 2021. – №4. – С. 30-32. DOI: 10.25680/S19948603.2021.121.09

Кукуруза по своим биологическим особенностям (C₄ – тип фотосинтеза) относится к культурам, устойчивым к возделыванию в монокультуре. Поэтому во многих странах Западной Европы, Канады и США полагают, что монокультура кукурузы экономически более выгодна, чем система севооборота, и при использовании внесевоворотных и труднодоступных участков вблизи животноводческих комплексов из-за небольших затрат на транспортировку зеленой массы, кукурузного силоса на малые расстояния высказывают предположение, что в будущем бессменное возделывание этой культуры возрастет. Уже сейчас в США примерно 15 % посевных площадей занимает кукуруза, выращиваемая в монокультуре. Для удовлетворения всевозрастающего спроса без увеличения посевных площадей под кукурузой в сельскохозяйственную практику широко входит бессменное возделывание этой культуры [1,2]. Самые длительные в мире полевые опыты с кукурузой, выращиваемой в монокультуре и севообороте, находятся в Иллиноиском университете (США) на опытных полях Морроу с 1876 г. [3] и Санборн с 1888 г. [4]. В европейских странах подобные опыты закладывали с 1946 г., а в Китае – с 1979 г.

Анализ результатов длительных полевых опытов не позволяет сделать однозначные выводы о продуктивно-

сти кукурузы в зависимости от места ее возделывания и внесения удобрений [5, 6].

Цель нашей работы – оценить влияние длительного применения удобрений под кукурузу, выращиваемую в монокультуре, на ее продуктивность, размеры накопления растительных остатков, содержание углерода в почве, вынос и баланс питательных веществ.

Методика. Исследования проводили в длительном стационарном полевом опыте по реестру Геосети в Воронежском филиале ФГБНУ ВНИИ кукурузы. Кукуруза в монокультуре возделывается с 1960 г. Это самый длительный опыт с монокультурой кукурузы не только в Российской Федерации, но и в ближнем зарубежье. Минеральные удобрения вносят ежегодно осенью под вспашку в форме N_{aa}, P_{cr}, K_x по схеме, представленной в таблицах. Площадь делянки 269,5 м², учетная – 192,5 м². Повторность трехкратная. Почва – чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на покровной карбонатной глине. На момент закладки опытов в пахотном слое содержалось: гумуса 5,6 %, общего азота 0,24, фосфора 0,15, калия 2,0 %, рН_{вод.} 6,6 ед., сумма поглощенных оснований – 38,4 ммоль/100 г почвы, степень насыщенности основаниями – более 90 %.

Количество корневых остатков определяли послойно перед уборкой урожая рамочным (70 x 70 см) методом Станкова в 4-кратной повторности (по две пробы с двух полевых повторений).

Отбор растительных проб и подготовку их для анализа осуществляли согласно методическим указаниям по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Содержание общего азота определяли по Кьельдалю, фосфора – фотометрическим методом, калия – на пламенном фотометре [7].

Определение углерода выполнено в лаборатории почвенных циклов азота и углерода в ИФХ и БПП РАН на масс-спектрометре «MAT253» (Tehrm 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 ($r=0,75\pm0,21$), чем от запаса продуктивной влаги в двухметровом слое почвы к моменту посева. Урожайность зеленой массы кукурузы на неудобренном фоне в среднем за 53 года составила 22,4 т/га с колебаниями по годам от 12,7 в 2010 г. до 31,7 т/га в 2012 г. (табл. 1).

1. Влияние длительного внесения удобрений на урожайность зеленой массы кукурузы в монокультуре, т/га

| Вариант | Средняя урожайность и прибавка за все годы исследований (53 года) | Min-Max | Средняя урожайность | |
|--|---|-------------|--|---|
| | | | с нормальным увлажнением (38 лет) ГТК = 1,05 | с недостаточным увлажнением (15 лет) ГТК = 0,58 |
| Контроль (б/у) | 22,4 | 12,7-31,7 | 24,6 | 17,0 |
| N ₆₀ | 5,7 | 0,2-13,6 | 6,2 | 4,4 |
| P ₆₀ | -0,4 | -3,6...-3,3 | -0,5 | -0,3 |
| K ₆₀ | 0,9 | -3,6...-6,0 | 1,0 | 0,5 |
| N ₆₀ P ₆₀ | 8,1 | 1,1-16,4 | 8,9 | 6,0 |
| N ₆₀ K ₆₀ | 7,2 | 2,2-13,9 | 7,9 | 5,4 |
| P ₆₀ K ₆₀ | 1,7 | -2,9...-8,0 | 1,8 | 1,3 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 10,6 | 1,5-17,6 | 11,8 | 7,5 |
| N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ | 9,4 | 1,9-18,2 | 10,3 | 6,8 |
| N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀ | 9,9 | 2,0-13,3 | 10,9 | 7,2 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ | 10,1 | 2,2-18,0 | 11,2 | 7,3 |
| N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀ | 13,7 | 2,3-25,9 | 15,0 | 10,0 |
| HCP _{0,5} | 2,4 | | 2,6 | 1,8 |

Действие азотных, фосфорных и калийных удобрений на продуктивность кукурузы было в прямой зависимости от эффективного плодородия почвы. При хорошей обеспеченности растений подвижными формами калия и фосфора за счет почвы не наблюдалось положительного влияния на продуктивность кукурузы от внесения фосфорных и калийных удобрений. При ежегодном внесении фосфорных удобрений (вар. P₆₀) отмечена устойчивая тенденция к снижению продуктивности кукурузы, а в отдельные годы даже достоверное снижение продуктивности кукурузы.

Эффективность азотного удобрения в значительной степени зависела от условий вегетационного периода. В благоприятные по увлажнению 1988, 1997, 2000, 2005, 2007 г. прибавка урожайности зеленой массы от внесения N₆₀ 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 г. – всего лишь 0,7; 0,2; 1,8; 1,6; 0,4 т/га соответственно. Многолетние данные свидетельствуют о необходимости совместного внесения с азотными фосфорных и

калийных удобрений по 60 кг/га, прибавка зеленой массы при этом почти удваивается по сравнению с N₆₀.

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 [8]. В среднем за 53 года прибавка урожайности зеленой массы кукурузы от внесения N₆₀P₆₀K₆₀ ставила 10,6 т/га, в нормальные по увлажнению годы – 11,8, в засушливые годы – 7,5 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 в полном удобрении прирост зеленой массы за все годы проведения опыта равнялся 13,7 т/га, в годы с ГТК – 1,05-15,0 и с ГТК – 0,58-10,0 т/га.

Одним из основных источников пополнения запасов органического вещества в почве являются корневые и пожнивные остатки полевых культур. Размеры накопления корневых и пожневных остатков кукурузы в условиях монокультуры указаны в таблице 2. Основная масса корней ($\approx 75\%$), независимо от агрофона, сосредоточена в верхнем 20 см слое пахотного горизонта. Масса корней кукурузы в 2,6 раза больше количества пожневных остатков.

2. Влияние удобрений на накопление корневых и пожневных остатков кукурузы (среднее за 3 года)

| Вариант | Масса корней | | | | | | Масса пожнив- ных остатков | Общая био- масса |
|---|----------------|-----------|-----------|---------------------|-------|-----------|-------------------------------------|------------------------|
| | т/га | | | % от общей массы | | | | |
| | Слой почвы, см | | | | | | | |
| | 0-20 | 20- 40 | 40- 60 | 0-20 | 20-40 | 40- 60 | | |
| Кон- троль | 1,52 | 0,29 | 0,14 | 77,9 | 14,9 | 7,2 | 0,8 | 2,75 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 2,14 | 0,39 | 0,20 | 78,4 | 14,3 | 7,3 | 1,0 | 3,73 |

Следует отметить, что подсчет возврата в почву органического вещества с корневыми остатками был неполным. Не учтены корни, отмершие в течение вегетации, и корневые выделения, которые трудно учесть, но роль которых в балансе органического вещества не вызывает сомнения.

На неудобренном фоне с корневыми и пожневными остатками в год поступало 24,9 кг/га N, 6,0 P₂O₅ и 19,9 кг/га K₂O, при ежегодном внесении N₆₀P₆₀K₆₀ возврат увеличивался: азота – на 62%, фосфора – на 70 и калия – на 59 %.

Определение запасов углерода в агрочерноземе (табл. 3) свидетельствует о высокой устойчивости органического вещества данной почвы.

3. Содержание и запасы органического углерода в выщелоченном черноземе (среднее \pm 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 и 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 в более глубоких слоях почвы.

Оценивая почвенное плодородие, как способность обеспечивать определенный уровень минерального питания и продуктивность культурных растений, важно располагать информацией о размерах выноса азота и зольных элементов растениями, и о том, в какой степени внесенные удобрения воздействуют на величину потребления N, P₂O₅, K₂O. Поступление азота, фосфора и калия в растения кукурузы из запасов агрочернозема (исключая пожнивно-корневые остатки) составило в среднем за все годы исследований, соответственно, 48,8; 20,9; 45,3 кг/га (табл. 4).

4. Вынос и условный баланс азота и зольных элементов при бессменном выращивании кукурузы (среднее за 1966-2020 г.)

| Элемент питания | Без удобрений | N ₆₀ | P ₆₀ | K ₆₀ | N ₆₀ P ₆₀ | N ₆₀ K ₆₀ |
|--|---------------------------------|---|---|--|--|--|
| <i>Средний ежегодный вынос растениями, кг/га</i> | | | | | | |
| N | 48,8 | 76,7 | 47,7 | 47,2 | 83,9 | 78,2 |
| P ₂ O ₅ | 20,9 | 26,3 | 25,3 | 22,7 | 32,0 | 27,6 |
| K ₂ O | 45,3 | 56,9 | 50,7 | 60,4 | 66,3 | 76,7 |
| <i>Баланс ±, кг/га</i> | | | | | | |
| N | -48,8 | -16,7 | -47,2 | -23,9 | -18,2 | |
| P ₂ O ₅ | -20,9 | -26,3 | 34,7 | -22,7 | 28,0 | -27,6 |
| K ₂ O | -45,3 | -56,9 | -50,7 | -0,4 | -66,3 | -16,7 |
| Элемент питания | P ₆₀ K ₆₀ | N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ | N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀ | N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ | N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀ |
| <i>Средний ежегодный вынос растениями, кг/га</i> | | | | | | |
| N | 51,0 | 94,6 | 86,9 | 91,6 | 87,6 | 112,0 |
| P ₂ O ₅ | 28,7 | 35,6 | 32,6 | 41,9 | 35,7 | 39,2 |
| K ₂ O | 68,9 | 89,4 | 85,3 | 89,8 | 99,5 | 93,3 |
| <i>Баланс ±, кг/га</i> | | | | | | |
| N | -51,0 | -34,6 | -26,9 | -31,6 | -27,6 | 8,0 |
| P ₂ O ₅ | 31,3 | 24,4 | -2,6 | 78,1 | 24,3 | 20,8 |
| K ₂ O | 8,9 | -29,4 | -25,3 | -29,8 | 20,5 | -33,3 |

Вынос элементов питания кукурузой обусловлен, прежде всего, ее продуктивностью и дозами каждого внесенного с удобрениями элемента питания. С увеличением вдвое дозы азота, фосфора и калия повышался, но не пропорционально, и средний вынос элементов с 1 га. Баланс по азоту при внесении как одного азота в дозе 60 кг/га, так и в сочетании с другими элементами питания был отрицательный. Наблюдался дефицит по калию при такой же дозе внесения. Ежегодная доза фосфора 30 кг/га была вполне достаточной для поддержания бездефицитного баланса и получения высокой урожайности кукурузы. При внесении P₂O₅ в дозе 60

кг/га отмечен положительный баланс фосфора. При ежегодном внесении максимальной дозы 120 кг/га, наблюдалось положительное сальдо по азоту – 8,0, калию – 20,5 кг/га, то по фосфору поступление с удобрениями в 1,9 раза превышало вынос. Последнее указывает на то, что доза фосфора 120 кг/га при ежегодном внесении была слишком высока.

Коэффициент использования азота, фосфора и калия из удобрений по разности с контролем повышался значительно от одностороннего внесения каждого элемента к парному, а затем к тройному их сочетанию в дозах 60 кг/га и составил по N – 44-76%, P₂O₅ – 7-25 и K₂O – 25-74 %.

Заключение. В результате многолетних исследований установлено, что в агроэкологических условиях Центрального Черноземья кукуруза способна выдерживать длительное выращивание в монокультуре. Продуктивность кукурузы определяли азотные удобрения, внесенные отдельно и в сочетании с фосфорными и фосфорно-калийными при ежегодной дозе 60 кг/га. В среднем за 1968-2020 г. внесение N₆₀P₆₀K₆₀ повысило урожайность зеленой массы кукурузы на 10,6 т/га при урожайности на контроле 22,4 т/га.

Запасы органического углерода в выщелоченном черноземе во всех исследуемых 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.

С корневыми и пожнивными остатками кукурузы в почве за год оставалось 24,9 кг/га азота, 6,0 фосфора и 19,7 кг/га калия, при внесении N₆₀P₆₀K₆₀ возврат увеличивался, соответственно, на 62, 70 и 59 %.

Положительного баланса азота и калия в монокультуре кукурузы можно достичь при их внесении в дозе 120 кг/га, фосфора – 30 кг/га.

Литература

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. Vyn T.S. Making the best of corn – corn monoculture in the Eastern Corn-Belt / T.J. Vyn // Indiana Crop Adviser Conference. Indiana polis, IN. – 2006. – 19-20 th December. P. 1-5.
3. Daberkow S. Comparing continuous corn and corn-soybean cropping systems. / S. Daberkow, J. Payne, J. Schepers // Western Economic Forum. Spring. – 2008. – 13 p.
4. Khan S.A. The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration / S.A. Khan, R.L. Mulvaney, T.R. Ellsworth, C.W. Boast // Journal of Environmental Quality. – 2007. – № 36. – P. 1821-1832.
5. Мамсиров Н.И. Кукуруза в севооборотах короткой ротации и рациональное применение удобрений при ее монокультуре / Н.И. Мамсиров, Р.К. Тутуз, М.Р. Тимов // Земледелие. – 2014. – № 1. С. 35-37.
6. 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.
7. Петербургский А.В. Практикум по агрономической химии. – М.: Колос, 1968. – 495 с.
8. Прошкин В.А. Сравнительная эффективность минеральных удобрений на различных почвах / В.А. Прошкин, А.П. Смирнов // Агрохимия. – 1994. – № 5. – С. 35-38.

FERTILIZER MONO-CROPPING OF MAIZE IN THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

A.F. Stulin, c.of a.s.

Voronezh Branch of the Corn Research Institute, Voronezh Region, Khokholsky District, VNIIC Experimental Station,
13 Chayanova str., 396835, Russia

In a stationary field experiment, the productivity of corn in permanent sowing with long-term fertilization was studied. High efficiency of fertilizers is achieved when applying N₆₀P₆₀K₆₀, which increases the average annual yield of green mass of corn by 47.3 %, at 22.4 t/ha on a windless background. The reserves of organic carbon in the 0-80 cm 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. The removal and balance of nutrients and the return of nitrogen, phosphorus and potassium to the soil with root and crop residues of corn were determined.

Keywords: corn, permanent sowing, fertilizers, long-term application, yield, carbon, removal of nutrients.