

УДК 631.82:633.15:631.445

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕРНА КУКУРУЗЫ И ВЫНОС ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

© 2020 г. А. В. Сидоров¹, А. А. Моисеев², А. В. Ивойлов^{2,*}

¹ Государственный Центр агрохимической службы “Мордовский”
430904 Саранск, п/о Ялга, ул. Пионерская, 35, Россия

² Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
430005 Саранск, ул. Большевикская, 68, Россия

*E-mail: ivoilov.av@mail.ru

Поступила в редакцию 07.02.2020 г.

После доработки 10.03.2020 г.

Принята к публикации 10.06.2020 г.

В краткосрочном полевом двухфакторном опыте на темно-серой лесной почве изучено влияние различных доз минеральных удобрений и густоты стояния растений кукурузы на химический состав зерна (N, P₂O₅ и K₂O), вынос основных элементов питания урожаем и их условный баланс. Установлено, что концентрация общего азота в зерне кукурузы варьировала от 0.92 до 1.47%, фосфора – от 0.11 до 0.15% и калия – от 0.32 до 0.34%. Применение под кукурузу N90 и N60–120P30K30 увеличивало количество азота в зерне на 0.23–0.31 в 2015 г., на 0.13–0.21 в 2016 г. и на 0.03–0.11 абс. % в 2017 г. Содержание фосфора и калия в зерне в среднем за 3 года достоверно не различалось в вариантах опыта. Вынос элементов питания определялся величиной урожайности зерна кукурузы и их содержанием в зерне. На неудобренном агрофоне вынос азота урожаем зерна в среднем в опыте составил 32.7, фосфора – 3.9 и калия – 9.9 кг/га. Внесение минеральных удобрений увеличивало отчуждение этих элементов на 34.5–48.4, 3.3–4.2 и 7.2–10.9 кг/га соответственно.

Ключевые слова: кукуруза (*Zea mays* L.), темно-серая лесная почва, удобрения, химический состав, вынос питательных веществ, хозяйственный баланс.

DOI: 10.31857/S0002188120090112

ВВЕДЕНИЕ

Изучение химического состава сельскохозяйственных растений имеет много аспектов. Кроме непосредственного влияния на показатели качества выращиваемой продукции, химический состав растений воздействует на круговорот питательных веществ в агрофитоценозах и плодородие почвы через обмен элементов в системе почва–растение [1].

Общеизвестно, что применение удобрений, оказывая влияние на режим питания растений, урожайность культур и качество продукции, может изменять и количество основных элементов питания в растениях. Исследования свидетельствуют, что содержание в зерне кукурузы сырой золы и основных элементов питания варьирует довольно в широких пределах в зависимости от почвенно-климатических условий региона, биологических особенностей возделываемых сортов и гибридов и доз вносимых макро- и микроудобрений [2–8].

Сведений о влиянии минеральных удобрений на химический состав зерна кукурузы в условиях северной части лесостепи Среднего Поволжья, где эту универсальную культуру стали выращивать по зерновой технологии лишь в последние 10 лет, крайне мало. Большинство работ по означенному вопросу выполнены в районах традиционного возделывания кукурузы на зерно. Кроме того, очень мало данных по влиянию удобрений на химический состав зерна при разной густоте стояния растений. Поэтому цель работы – изучение влияния минеральных удобрений и густоты стояния растений на химический состав зерна кукурузы и вынос элементов питания на темно-серой лесной почве региона.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Краткосрочный полевой двухфакторный опыт (3 × 5) по оценке влияния минеральных удобрений на фоне различной густоты стояния растений

Таблица 1. Содержание азота в зерне кукурузы, % на абс. сухое вещество

Густота стояния растений, (фактор А)	Удобрение (фактор Б), вариант					Средние фактора А
	без удобрений (контроль)	N90	N60P30K30	N90P30K30	N120P30K30	
2015 г.						
50 тыс./га	0.92	1.27	1.18	1.30	1.23	1.18
65 тыс./га	0.95	1.24	1.18	1.26	1.20	1.18
80 тыс./га	0.98	1.20	1.21	1.19	1.18	1.16
Средние фактора Б	0.95	1.24	1.18	1.26	1.20	1.17
HSP_{05} частных различий = 0.26 HSP_{05} фактора А = 0.04 HSP_{05} фактора Б, АБ = 0.05						
2016 г.						
50 тыс./га	1.21	1.32	1.33	1.40	1.47	1.35
65 тыс./га	1.18	1.36	1.36	1.35	1.38	1.33
80 тыс./га	1.17	1.30	1.28	1.34	1.35	1.29
Средние фактора Б	1.19	1.33	1.32	1.36	1.40	1.32
HSP_{05} частных различий = 0.05 HSP_{05} фактора А = 0.02 HSP_{05} фактора Б, АБ = 0.03						
2017 г.						
50 тыс./га	1.23	1.38	1.27	1.36	1.34	1.31
65 тыс./га	1.18	1.25	1.19	1.31	1.30	1.24
80 тыс./га	1.13	1.24	1.17	1.19	1.25	1.20
Средние фактора Б	1.18	1.29	1.21	1.29	1.29	1.25
HSP_{05} частных различий = 0.08 HSP_{05} фактора А = 0.04 HSP_{05} фактора Б, АБ = 0.04						
Среднее за 2015–2017 гг.						
50 тыс./га	1.12	1.32	1.26	1.35	1.35	1.28
65 тыс./га	1.10	1.28	1.24	1.31	1.29	1.24
80 тыс./га	1.09	1.25	1.22	1.24	1.26	1.21
Средние фактора Б	1.10	1.28	1.24	1.30	1.30	1.24
HSP_{05} частных различий = 0.09 HSP_{05} фактора А, АБ $F_{\text{факт}} < F_{05}$ HSP_{05} фактора Б = 0.05						

кукурузы на ее зерновую продуктивность и показатели качества урожая проводили в 2015–2017 гг. на территории СП “Богдановское” Старошайговского р-на Республики Мордовия. Его методика и сопутствующие условия изложены в предшествующей публикации [9]. В ходе исследования было установлено, что применение минеральных удобрений достоверно увеличивало зерновую продуктивность кукурузы в среднем за 3 года на 2.27–3.26 т/га при урожайности в контроле 2.97 т/га, изменяло показатели качества зерна. Без внесения удобрений максимальная урожайность зерна кукурузы отмечена при густоте стояния 50, при их использовании – 65 тыс. растений/га. Наибольшая в опыте окупаемость удобрений прибавкой урожая (25.2 кг зерна/кг д.в. удобрений) отмечена при использовании N90, наименьшая (18.1 кг зерна/кг д.в. удобрений) – N120P30K30.

В данной публикации приведены результаты исследования по влиянию изученных в опыте факторов на химический состав (N, P₂O₅ и K₂O) зерна кукурузы и вынос основных элементов питания урожаем зерна.

Химический состав зерна кукурузы определяли в лаборатории “Государственного центра агрохимической службы “Мордовский” по соответствующим методикам и ГОСТам. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа на персональном компьютере с применением программ прикладной статистики Stat 3 и Excel 2003.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показано, что содержание общего азота в зерне кукурузы в среднем за 3 года составляло 1.24% с изменениями в отдельные годы и в вариантах от 0.92 до 1.47% (табл. 1). Самое низкое содержание

Таблица 2. Содержание P_2O_5 в зерне кукурузы, % на абсолютно сухое вещество

Густота стояния растений, (фактор А)	Удобрение (фактор Б), вариант					Средние фактора А
	без удобрений (контроль)	N90	N60P30K30	N90P30K30	N120P30K30	
2015 г.						
50 тыс./га	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.14
65 тыс./га	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
80 тыс./га	0.10	0.13	0.10	0.11	0.10	0.11
Средние фактора Б	0.12	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12
HCP_{05} частных различий = 0.03 HCP_{05} фактора Б = 0.02 HCP_{05} фактора А, АБ $F_{факт} < F_{05}$						
2016 г.						
50 тыс./га	0.14	0.14	0.14	0.12	0.12	0.13
65 тыс./га	0.12	0.14	0.14	0.16	0.12	0.14
80 тыс./га	0.14	0.12	0.14	0.14	0.12	0.13
Средние фактора Б	0.13	0.13	0.14	0.14	0.12	0.13
HCP_{05} частных различий = 0.02 HCP_{05} фактора А $F_{факт} < F_{05}$ HCP_{05} фактора Б, АБ = 0.01						
2017 г.						
50 тыс./га	0.13	0.12	0.16	0.14	0.13	0.14
65 тыс./га	0.14	0.15	0.14	0.13	0.15	0.14
80 тыс./га	0.13	0.16	0.14	0.16	0.12	0.14
Средние фактора Б	0.13	0.14	0.14	0.14	0.13	0.14
$F_{факт} < F_{05}$						
Среднее за 2015–2017 гг.						
50 тыс./га	0.14	0.13	0.15	0.13	0.13	0.14
65 тыс./га	0.13	0.14	0.13	0.14	0.13	0.13
80 тыс./га	0.12	0.14	0.13	0.14	0.11	0.13
Средние фактора Б	0.13	0.14	0.14	0.14	0.12	0.13
$F_{факт} < F_{05}$						

общего азота отмечено в 2015 г., наиболее высокое – в благоприятном по тепло- и влагообеспеченности 2016 г. Под влиянием удобрений количество азота в зерне увеличивалось в 2015 г. на 0.23–0.31, в 2016 г. – на 0.13–0.21 и в 2017 г. – на 0.03–0.11 абс. %. При этом прослежена прямая зависимость: чем выше доза азота в составе удобрений, тем больше содержание общего азота в зерне кукурузы.

Содержание общего азота в зерне кукурузы зависело и от густоты стояния растений. Например, наибольшее его количество зафиксировано при плотности посева 50 тыс. растений/га. В загущенных посевах содержание азота в среднем за 3 года снижалось на 0.04–0.07 абс. %.

Следует отметить, что полученные показатели содержания азота в зерне кукурузы были несколько меньше, чем приведенные другими исследователями. Например, в опыте [10] на черно-

земе выщелоченном в условиях Республики Татарстан содержание азота в зерне кукурузы в варианте без удобрений в среднем за 3 года варьировало от 1.53 до 1.65%, при внесении удобрений – от 1.68 до 1.86%. В исследованиях [6] на черноземе сильновыщелоченном в условиях Северного Зуралья содержание общего азота в зерне кукурузы менялось от 1.49 до 1.96%. При этом максимальное его количество отмечено в варианте с внесением удобрений на планируемую урожайность зерна 4.0 т/га (N60–110P60–80K60–80).

Содержание фосфора и калия в среднем за 3 года достоверно не различалось в вариантах опыта ($F_{факт} < F_{05}$), было относительно низким по сравнению с данными других авторов [5, 6, 10], проводивших опыты в схожих почвенно-климатических условиях, и варьировало в пределах 0.11–0.15 и 0.32–0.34% соответственно (табл. 2 и 3). В то же время в исследованиях на черноземе

Таблица 3. Содержание K_2O в зерне кукурузы, % на абс. сухое вещество

Густота стояния растений, (фактор А)	Удобрение (фактор Б), вариант					Средние фактора А
	без удобрений (контроль)	N90	N60P30K30	N90P30K30	N120P30K30	
2015 г.						
50 тыс./га	0.36	0.35	0.35	0.33	0.34	0.35
65 тыс./га	0.33	0.33	0.37	0.37	0.34	0.35
80 тыс./га	0.34	0.32	0.39	0.36	0.36	0.35
Средние фактора Б	0.35	0.33	0.37	0.35	0.35	0.35
$F_{\text{факт}} < F_{05}$						
2016 г.						
50 тыс./га	0.33	0.33	0.33	0.33	0.34	0.33
65 тыс./га	0.32	0.33	0.32	0.31	0.32	0.32
80 тыс./га	0.32	0.33	0.31	0.32	0.31	0.32
Средние фактора Б	0.32	0.33	0.32	0.32	0.32	0.32
HCP_{05} частных различий = 0.008 HCP_{05} фактора А = 0.004 HCP_{05} фактора Б, АБ = 0.006						
2017 г.						
50 тыс./га	0.34	0.33	0.34	0.32	0.33	0.33
65 тыс./га	0.33	0.31	0.31	0.32	0.32	0.32
80 тыс./га	0.32	0.32	0.32	0.31	0.32	0.32
Средние фактора Б	0.33	0.32	0.33	0.32	0.32	0.32
HCP_{05} частных различий = 0.02 HCP_{05} фактора А = 0.01 HCP_{05} фактора Б = 0.01						
Среднее за 2015–2017 гг.						
50 тыс./га	0.34	0.34	0.34	0.33	0.34	0.34
65 тыс./га	0.33	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33
80 тыс./га	0.33	0.32	0.34	0.33	0.33	0.33
Средние фактора Б	0.33	0.33	0.34	0.33	0.33	0.33
$F_{\text{факт}} < F_{05}$						

обыкновенном Эрстовской опытной станции содержание K_2O в зерне кукурузы было таким же, как и в наших исследованиях – 0.27–0.35% в оптимальные по увлажнению и слабозасушливые годы, и 0.67% – в сильнозасушливые [11].

Внесение минеральных удобрений и различная густота стояния растений кукурузы неоднозначно влияли не только на урожайность зерна и на его химический состав, но и изменяли размеры хозяйственного выноса основных элементов питания (азота, фосфора и калия) урожаем зерна – показатели, необходимые при разработке системы удобрения под отдельные культуры. Расчеты показали, что вынос элементов питания определяется величиной урожая зерна кукурузы и их содержанием в зерне (табл. 4). На естественном агрофоне вынос азота урожаем зерна в среднем в опыте составил 32.7, фосфора – 3.9 и калия – 9.9 кг/га. Внесение минеральных удобрений уве-

личивало отчуждение этих элементов на 34.5–48.4, 3.3–4.2 и 7.2–10.9 кг/га соответственно.

В вариантах без внесения удобрений и при одностороннем использовании N90 отмечали отрицательный условный баланс P_2O_5 и K_2O при возделывании кукурузы. В то же время применение полного минерального удобрения (N60–120P30K30) обеспечивало положительный баланс фосфора и калия. Положительный условный баланс азота складывался в опыте при внесении азота >60 кг д.в./га

ВЫВОДЫ

1. Содержание общего азота в зерне кукурузы в среднем в опыте за 3 года составляло 1.24% с изменениями в отдельные годы и в вариантах от 0.92 до 1.47%. Самое низкое содержание общего азота

Таблица 4. Урожайность зерна кукурузы и условный баланс питательных веществ (средние данные за 2015–2017 гг.)

Удобрение (фактор Б)	Урожай- ность зерна	Прибавка	Вынос с урожаем зерна, кг/га			Условный баланс, кг/га		
	т/га		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
50 тыс. растений/га								
Без удобрений (контроль)	3.03	–	33.9	4.2	10.3	–33.9	–4.2	–10.3
N90	5.20	2.17	68.6	6.8	17.7	+21.4	–6.8	–17.7
N60P30K30	5.50	2.47	69.3	8.2	18.7	–9.3	+21.8	+11.3
N90P30K30	5.97	2.94	80.6	7.8	19.7	+9.4	+22.2	+10.3
N120P30K30	6.40	3.37	86.4	8.3	21.8	+33.6	+21.7	+8.2
65 тыс. растений/га								
Без удобрений (контроль)	2.97	–	32.7	3.9	9.8	–32.7	–3.9	–9.8
N90	5.35	2.38	68.5	7.5	17.1	+21.5	–7.5	–17.1
N60P30K30	5.62	2.65	69.7	7.3	18.6	–9.7	+22.7	+11.4
N90P30K30	6.14	3.17	80.4	8.6	20.3	+9.6	+21.4	+9.7
N120P30K30	6.52	3.55	84.1	8.5	21.5	+35.9	+21.5	+8.5
80 тыс. растений/га								
Без удобрений (контроль)	2.90	–	31.6	3.5	9.6	–31.6	–3.5	–9.6
N90	5.16	2.26	64.5	7.2	16.5	+25.5	–7.2	–16.5
N60P30K30	5.13	2.23	62.6	6.7	17.4	–2.6	+23.3	+12.6
N90P30K30	5.64	2.74	69.9	7.9	18.6	+20.1	+22.1	+11.4
N120P30K30	5.98	3.08	75.4	6.6	19.7	+44.6	+23.4	+10.3

отмечено в 2015 г., наиболее высокое – в благоприятном по тепло- и влагообеспеченности 2016 г.

2. При внесении под кукурузу N90 и N60–120P30K30 количество азота в зерне увеличивалось в 2015 г. на 0.23–0.31, в 2016 г. – на 0.13–0.21 и в 2017 г. – на 0.03–0.11 абс. %. При этом прослежена прямая зависимость: чем выше доза азота в составе удобрений, тем больше содержание общего азота в зерне кукурузы.

3. Содержание фосфора и калия в среднем за 3 года варьировало в пределах 0.11–0.15 и 0.32–0.34% соответственно и достоверно не различалось в вариантах опыта.

4. Величина выноса элементов питания определялась величиной урожая зерна кукурузы и их содержанием в зерне. На естественном агрофоне вынос азота урожаем зерна в среднем в опыте составил 32.7, фосфора – 3.9 и калия – 9.9 кг/га. Внесение минеральных удобрений увеличивало отчуждение этих элементов на 34.5–48.4, 3.3–4.2 и 7.2–10.9 кг/га соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панныков В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение, урожай. Изд. 2-е, доп. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
2. Рымарь В.Т., Покудин Г.П., Мухина С.В. Урожайность и качество зерна кукурузы в зернопропашном севообороте // Кормопроизводство. 2000. № 8. С. 18–20.
3. Стулин А.Ф. Влияние длительного применения удобрений в бессменном посеве кукурузы на ее продуктивность и вынос элементов питания на черноземе выщелоченном // Агрохимия. 2007. № 1. С. 25–30.
4. Никитишен В.И., Личко В.И. Взаимосвязи в питании кукурузы при длительном применении удобрений на серой лесной почве ополья // Агрохимия. 2014. № 12. С. 16–23.
5. Усанова З.И., Шальнов И.В., Васильев А.С. Влияние расчетных доз удобрений и густоты стояния на продуктивность кукурузы, вынос и хозяйственный баланс основных элементов питания // Земледелие. 2016. № 3. С. 23–26.
6. Еремин Д.И., Демин Е.А. Хозяйственный вынос основных элементов питания при выращивании кукурузы по зерновой технологии в лесостепной зо-

- не Зауралья // АПК России. 2017. Т. 24. № 4. С. 883–888.
7. Моисеев А.А., Ивойлов А.В., Сидоров А.В., Власов П.Н. Эффективность удобрений при возделывании кукурузы на зерно в условиях южного Нечерноземья. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. 172 с.
 8. Толорая Т.Ф., Малаканова В.П., Подлесный А.И., Ломовской Д.В., Ласкин Р.В., Пацкан В.Ю. Эффективность припосевного внесения минеральных удобрений и азотных подкормок при выращивании кукурузы // Научн. журн. КубГАУ. 2013. № 85 (01). С. 1–10. [Электр. ресурс]. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/01/pdf/43.pdf>
 9. Моисеев А.А., Ивойлов А.В., Якомаскин С.С., Сидоров А.В. Влияние минеральных удобрений и густоты стояния растений кукурузы на урожайность и качество зерна в северной части лесостепи Среднего Поволжья // Агрохимия. 2019. № 1. С. 29–35.
 10. Чекмарев П.А., Фомин В.Н., Турнин С.Л. Влияние удобрений на пищевой режим почвы и химический состав зерна гибридов кукурузы // Земледелие. 2017. № 8. С. 14–17.
 11. Крамарев С.М., Скрипник Л.Н., Усенко Ю.И., Журавель Т.А., Хорсева Л.Ю., Яковишина Т.Ф. Интенсивность поступления основных макроэлементов в растения кукурузы в онтогенезе // Агрохимия. 2002. № 12. С. 21–30.

Influence of Mineral Fertilizers on the Chemical Composition of the Corn Grain and the Takeaway of Basic Elements in the Conditions of Forest-Steppe of the Middle Volga Region

A. V. Sidorov^a, A. A. Moiseev^b, and A. V. Ivoilov^{b, #}

^a State Center of Agrochemical Service "Mordovia"
Pionerskaya ul. 35, Yalga, Saransk 430904, Russia

^b Ogarev Mordovia State University
Bolshevistskaya ul. 68, Saransk 430005, Russia

[#]E-mail: ivoilov.av@mail.ru

In a short-term field two-factor experiment on dark gray forest soil, the effect of various doses of mineral fertilizers and the density of corn plants on the chemical composition of grain (N, P₂O₅ and K₂O), the removal of the main nutrients with the crop and their conditional balance were studied. It was established that the concentration of total nitrogen in corn grain varied from 0.92 to 1.47%, phosphorus from 0.11 to 0.15, and potassium from 0.32 to 0.34%. The use of N90 and N60–120P30K30 for corn increased the amount of nitrogen in the grain by 0.23–0.31 abs. % in 2015, by 0.13–0.21 in 2016 and by 0.03–0.11 abs. % in 2017. The content of phosphorus and potassium in grain on average over 3 years did not significantly differ in the experimental variants. The removal of nutrients was determined by the yield of corn grain and their content in the grain. On a natural agricultural background, nitrogen removal with grain yield was, on average, 32.7, phosphorus – 3.9 and potassium – 9.9 kg/ha. The application of mineral fertilizers increased the alienation of these elements by 34.5–48.4, 3.3–4.2 and 7.2–10.9 kg/ha, respectively.

Key words: mayze (*Zea mays* L.), dark gray forest soil, fertilizers, chemical composition, nutrient removal, nutrient balance.