

Евгений Александрович Демин

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, менеджер Института прикладных аграрных исследований и разработок, Тюмень, Россия

E-mail: gambitn2013@yandex.ru

Людмила Николаевна Барабанщикова

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, доцент кафедры общей химии, кандидат биологических наук, Тюмень, Россия

E-mail: bar.2000@mail.ru

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ДИНАМИКУ ПОГЛОЩЕНИЯ КАЛИЯ КУКУРУЗОЙ, ВЫРАЩИВАЕМОЙ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ЗАУРАЛЬЯ

Кукуруза – культура, которая выносит большое количество питательных веществ. Особенно сильный вынос отмечается по калию, так как значительная его часть содержится в вегетативной массе растений, а биомасса кукурузы в разы выше других сельскохозяйственных культур. Многие товаропроизводители отказываются от внесения калийных удобрений, ограничиваясь лишь использованием азотных и в редких случаях фосфорных удобрений, ориентируясь на большое содержание калия в почвах. Однако высокая агрогенная нагрузка на земли, вовлеченные в постоянное сельскохозяйственное использование, приводит к стабильному снижению этого элемента в почвах, что в недалеком будущем приведет к его дефициту и нарушению баланса питательных веществ. Поэтому для понимания всей проблемы необходимо дополнительное изучение калийного питания. Исследования были проведены в лесостепной зоне Зауралья в Заводуковском районе Тюменской области в 2016–2018 гг. на черноземе выщелоченном. Схема опыта предусматривала вариант без использования минеральных удобрений и с внесением NPK на планируемые урожаи от 4,0 до 6,0 т/га зерна кукурузы. В опыте высевался гибрид Обский 140, норма высева которого составляла 70 тыс. растений на гектар. Установлено, что содержание калия в кукурузе в течение роста растений снижается. К цветению кукуруза усваивает до 50 % от необходимого количества калия. Максимальное потребление калия приходится на период созревания зерна – 43–52 % от общего выноса за всю вегетацию. Внесение минеральных удобрений способствует повышению хозяйственного выноса на 32–62 % относительно контроля.

Ключевые слова: кукуруза, минеральные удобрения, содержание калия, увеличение биомассы, хозяйственный вынос, усвоение калия.

Evgeny A. Demin

State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, manager of the Institute of Applied Agrarian Research and Development, Tyumen, Russia

E-mail: gambitn2013@yandex.ru

Lyudmila N. Barabanshchikova

State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, associate professor, Department of General Chemistry, candidate of biological sciences, Tyumen, Russia

E-mail: bar.2000@mail.ru

MINERAL FERTILIZERS INFLUENCE ON THE POTASSIUM UPTAKE DYNAMICS BY CORN CULTIVATED IN THE TRANS-URALS FOREST-STEPPE ZONE

Corn is a crop that takes out a large amount of nutrients. Especially strong removal is noted for potassium, since a significant part of it is contained in the vegetative mass of plants, and the biomass of corn is several times higher than other agricultural crops. Many commodity producers refuse to apply potash ferti-

lizers, limiting themselves only to the use of nitrogen and, in rare cases, phosphorus fertilizers, focusing on the high content of potassium in soils. However, a high agrogenic load on lands involved in permanent agricultural use leads to a stable decrease in this element in soils, which in the near future will lead to its deficiency and imbalance of nutrients. Therefore, to understand the whole problem, additional study of potassium nutrition is necessary. The study was conducted in the forest-steppe zone of the Trans-Urals in the Zavodukovsky District of the Tyumen Rregion in 2016–2018, on leached chernozem. The scheme of the experiment provided for an option without the use of mineral fertilizers and with the introduction of NPK on the planned yields of 4.0 to 6.0 t/ha of corn grain. In the experiment, a hybrid Obsky 140 was sown, the seeding rate of which was 70 thousand plants per hectare. It was found that the potassium content in corn decreases during plant growth. By flowering, corn absorbs up to 50 % of the required amount of potassium. The maximum consumption of potassium falls on the period of grain maturation – 43–52 % of the total removal for the entire growing season. The introduction of mineral fertilizers contributes to an increase in the economic removal by 32–62 % relative to the control.

Keywords: corn, mineral fertilizers, potassium content, increase in biomass, economic carry-over, assimilation of potassium.

Введение. Кукуруза – высокопродуктивная культура, которая получила широкое распространение благодаря возможности многоцелевого использования [1–3]. В настоящее время эта культура завоевывает все больше посевных площадей, в частности в северных регионах страны, из-за успешной селекции раннеспелых гибридов, которые менее нуждаются в сумме температур [4, 5]. Кукуруза отличается от других сельскохозяйственных растений тем, что потребляет высокое количество питательных веществ из-за большой биомассы и показывает внушительную урожайность лишь на почвах с высоким плодородием [6–8]. Многие товаропроизводители применяют при возделывании сельскохозяйственных растений лишь азотные и в редких случаях фосфорные удобрения, полностью отказавшись от калийных из-за высокого содержания этого элемента в почвах. Однако, как показывают исследования, отказ от калийных удобрений приводит к стремительному снижению запасов подвижного калия [9, 10]. Многие исследователи утверждают, что продуктивность кукурузы без использования калийных удобрений резко снижается даже при высоком содержании этого элемента в почвах. Это происходит потому, что кукуруза плохо усваивает калий из почвы – не более 7–50 %, тогда как из минеральных удобрений потребление калия кукурузой достигает 25–57 % [11–13]. Исследования, проведенные в различных почвенно-климатических условиях, показывают, что нет общей закономерности по потреблению калия из почвы [14–16]. Поэтому для четкого понимания усвоения калия кукурузой и корректировки

системы удобрений необходимо дополнительное изучение калийного питания.

Цель исследований. Установить влияние минеральных удобрений на динамику потребления калия кукурузой в условиях лесостепной зоны Зауралья.

Материалы и методы. Опыт закладывался с 2016 по 2018 г. в Заводоуковском районе Тюменской области. Схема опыта предусматривала внесение минеральных удобрений (аммофоска и аммиачная селитра) на различную урожайность зерна кукурузы (дозы приведены в среднем по годам): 4,0 т/га – N₈₃P₆₇K₆₇; 5,0 т/га – N₁₁₀P₉₃K₉₃; 5,0 т/га – N₁₄₇P₁₁₃K₁₁₃, в качестве контроля использовался вариант с естественным плодородием чернозема выщелоченного. Содержание нитратного азота составляло 11 мг/кг, подвижного фосфора и обменного калия 79 и 170 мг/кг почвы соответственно. Обменная кислотность не превышала 6,5 ед. рН, содержание гумуса – 8,3 %.

Для учета продуктивной массы и зерна кукурузы отбирали по 50 растений с каждого варианта. В дальнейшем растения высушивали и проводили пробоподготовку для определения общего калия в вегетативной массе и зерне по ГОСТ 32250. Расчет выноса калия проводили по формуле

$$B = \sum(C_i \cdot M_i) \cdot 10,$$

где B – вынос калия, кг/га; C_i – содержание калия в отдельных органах, %; M_i – масса отдельных органов, т/га.

Агротехника предусматривала проведение отвальной основной обработки почвы после уборки предшественника (овса) на глубину 23–25 см.

Весной бороновали в два следа – БЗСС-1,0. Перед посевом кукурузы врезали необходимые дозы минеральных удобрений сеялкой СЗП-3,6, в дальнейшем проводили культивацию – КПС-4. Сеяли гибрид Обский 140 с нормой высева 70 тыс. га сеялкой СУПН-8А.

Результаты и их обсуждение. Максимальная концентрация калия в тканях кукурузы на контроле отмечается в фазу 5–6-го листа – 3,30 %. Внесение минеральных удобрений на

планируемую урожайность до 6,0 т/га зерна способствует закономерному повышению содержания этого элемента в кукурузе из-за лучшего его усвоения из минеральных удобрений, чем из почвы [17] (табл. 1).

В течение вегетации содержание калия в кукурузе уменьшается. К фазе 8–9-го листа на контроле содержание калия снизилось на 15 % относительно предыдущей фазы. На удобренных вариантах также отмечалась тенденция по снижению концентрации калия в кукурузе на 14–23 %. Однако относительно контрольного варианта содержание этого элемента было выше на 6–32 %, где значения составляли 2,99–3,72 %.

Таблица 1

Влияние минеральных удобрений на динамику содержания общего калия в кукурузе, % сухого вещества

Вариант (фактор А)	Фенологическая фаза (фактор В)				
	5–6-й лист	8–9-й лист	Цветение	Уборка	
				Вегетативная масса	Зерно
Контроль	3,30	2,81	1,83	1,85	0,47
НПК на 4,0 т/га	3,87	2,99	1,93	1,92	0,48
НПК на 5,0 т/га	4,16	3,59	2,00	1,99	0,49
НПК на 6,0 т/га	4,45	3,72	2,10	2,04	0,50

Примечание: фактор А – НСР₀₅ = 0,17; фактор В – НСР₀₅ = 0,32; фактор АВ – НСР₀₅ = 0,32.

К цветению продолжается снижение содержания калия в тканях растений из-за значительного повышения биологической массы кукурузы. В результате этого на контроле концентрация калия уменьшилась до 1,83 %. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность от 4,0 до 5,0 т/га зерна не оказало достоверного влияния на содержание калия в кукурузе, отклонения находились в пределах ошибки опыта (НСР₀₅ = 0,17). На варианте с максимальными дозами минеральных удобрений концентрация калия достигала 2,10 %, что на 15 % выше контроля. Это объясняется тем, что в этот период корневая система кукурузы хорошо развита и способна усваивать калий, расположенный не только в пахотном, но и нижележащих слоях. Лимитирующим фактором интенсивного нарастания биомассы кукурузы, который напря-

мую влияет на содержание элементов питания в растении, являются азот и фосфор, количество которых на вариантах с внесением минеральных удобрений до 5,0 т/га зерна кукурузы меньше, чем на варианте с НПК до 6,0 т/га.

Наибольшая концентрация калия в период уборки содержится в вегетативной массе кукурузы – от 1,85 до 2,04 % сухого вещества, тогда как в зерне концентрация в 4 раза меньше – 0,47–0,50 %.

В начале своего развития кукуруза плохо усваивает питательные вещества из-за слабой корневой системы. В результате этого в фазу 5–6-го листа вынос калия с одного гектара составлял от 2 до 4 кг, минеральные удобрения не оказывали достоверного влияния на вынос этого элемента кукурузой, отклонения находились в пределах ошибки опыта (НСР₀₅ = 10) (табл. 2).

Влияние минеральных удобрений на вынос калия кукурузой, кг/га

Вариант (фактор А)	Фенологическая фаза (фактор В)			
	5–6-й лист	8–9-й лист	Цветение	Уборка
Контроль	2	59	153	269
НПК на 4,0 т/га	4	71	169	356
НПК на 5,0 т/га	3	118	195	377
НПК на 6,0 т/га	4	138	252	436

Примечание: фактор А – НСР₀₅ = 10; фактор В – НСР₀₅ = 16; фактор АВ – НСР₀₅ = 16.

К фазе 8–9-го листа отмечается высокий вынос калия кукурузой из-за стремительного нарастания биомассы в этот период [18]. На контроле вынос этого элемента составлял 59 кг/га. Минеральные удобрения, внесенные на планируемую урожайность до 6,0 т/га зерна кукурузы, способствовали лучшему развитию корневой системы и набору фитомассы кукурузы, в результате чего вынос калия повышался на 12–79 кг/га относительно варианта без использования минеральных удобрений. Несмотря на высокий вынос калия, кукуруза к этой фазе потребляет лишь 22–32 % от общего количества усвоенного элемента за вегетацию (табл. 3).

К цветению кукуруза на контроле усваивает 153 кг/га калия, что составляет 57 % от общего выноса за вегетацию. С повышением доз минеральных удобрений вынос калия увеличивается до 169–252 кг/га. Однако к этой фазе на вариантах с планируемой урожайностью 4,0 и 5,0 т/га зерна кукуруза усвоила 47–52 % от общего выноса, что на 5–10 % ниже контроля. Это связано с тем, что к середине вегетации кукурузы на вариантах без использования минеральных удобрений образуется дефицит азота и фосфора в почве, что приводит к нарушению баланса питательных веществ в растении, и кукуруза не может в полной мере реализовывать весь потенциал.

Таблица 3

Влияние минеральных удобрений на динамику потребления калия кукурузой, %

Вариант (фактор А)	Фенологическая фаза (фактор В)			
	5–6-й лист	8–9-й лист	Цветение	Уборка
Контроль	1	22	57	100
НПК на 4,0 т/га	1	20	47	100
НПК на 5,0 т/га	1	31	52	100
НПК на 6,0 т/га	1	32	58	100

Примечание: фактор А – НСР₀₅ = 2; фактор В – НСР₀₅ = 9; фактор АВ – НСР₀₅ = 9.

К уборке кукурузы хозяйственный вынос калия с одного гектара на контроле составлял 269 кг. Внесение минеральных удобрений обеспечивало лучшее усвоение питательных веществ и развитие растения, что повышало хозяйственный вынос на 32–62 % относительно контроля.

Заключение. В период вегетации кукурузы содержание калия в растении снижается с 3,30–4,45 до 1,83–2,10 % из-за интенсивного нарастания биомассы. Основная концентрация калия в период уборки содержится в вегетативной массе и составляет 1,84–2,04 % сухого веществ-

ва, в зерне его содержание в 4 раза ниже из-за меньшего количества клеточного сока. К фазе цветения у кукурузы достаточно хорошо развита корневая система, которая способствует лучшей усвояемости питательных веществ. В результате этого кукуруза на контроле в этот период потребляет до 59 кг/га калия. Увеличение уровня питания за счет внесения минеральных удобрений обеспечивает интенсивное усвоение питательных веществ, вынос калия при этом повышается до 71–138 кг/га. Хозяйственный вынос калия на контроле составляет 269 кг/га, внесе-

ние минеральных удобрений приводит к увеличению урожайности основной и побочной продукции кукурузы, выноса калия на 32–62 % относительно контроля. Поэтому при расчете доз калийных удобрений необходимо учитывать, что при повышении уровня питания вынос калия кукурузой возрастает на 32–62 %.

Литература

1. Цедик О.Д., Кравцов В.И. Перспективы использования на продовольственные цели зерна кукурузы, выращиваемого в Республике Беларусь // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. 2016. № 1 (20). С. 24–28.
2. Ахтариёв Р.Р., Рзаева В.В., Миллер С.С. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность гибридов кукурузы // Вестник Мичуринского ГАУ. 2020. № 4 (63). С. 96–99.
3. Прудников А.Д., Курятов П.А. Производство кукурузы на силос в Смоленской области с использованием аминокислотных биостимуляторов // Кормопроизводство. 2020. № 1. С. 41–44.
4. Значение селекционного индекса новых гибридов кукурузы на зерно при выращивании на бораге и при орошении / О.Н Панфилова [и др.] // Аграрный научный журнал. 2020. № 3. С. 23–28.
5. Губин С.В., Логинова А.М., Гетц Г.В. Экологическая адаптивность новых гибридов кукурузы с участием линий Омской селекции // АПК России. 2020. Т. 27, № 3. С. 421–426.
6. Семина С.А., Гаврюшина И.В. Влияние условий минерального питания на формирование урожайности зерна кукурузы // Научная жизнь. 2019. Т. 14, № 7 (95). С. 1097–1106.
7. Сидоров А.В., Моисеев А.А., Ивойлов А.В. Влияние минеральных удобрений на химический состав зерна и вынос основных элементов питания в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Агрехимия. 2020. № 9. С. 18–23.
8. Демин Е.А., Барабанщикова Л.Н. Вынос элементов питания кукурузой, выращиваемой на зеленую массу по зерновой технологии в условиях лесостепной зоны Зауралья // Вестник Мичуринского ГАУ. 2020. № 2 (61). С. 90–94.
9. Еремин Д.И. Влияние длительного использования органоминеральной системы удобрений зернового севооборота на динамику подвижного калия чернозема выщелоченного // Плодородие. 2016. № 2 (89). С. 28–31.
10. Eremina D.V., Eremin D.I. Fertility of agroge- nic and postagrogenic chernozems of Western Siberia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, interagromash 2019.
11. Демин Е.А. Оптимизация минерального питания выращиваемой по зерновой технологии кукурузы в лесостепной зоне Зауралья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04. Тюмень, 2019. 16 с.
12. Якименко В.Н. Влияние уровня калийного питания на продуктивность кукурузы и фонд калия в почве // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2005. № 5. С. 23–29.
13. Дзюин Г.П., Дзюин А.Г. Коэффициенты использования азота, фосфора и калия из минеральных удобрений, навоза и почвы культурами севооборота // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 5. С. 83–90.
14. Подрезов П.И., Мязин Н.Г. Влияние много- летнего применения удобрений на агрохи- мические свойства чернозема типичного, урожайность и качество возделываемой на силос кукурузы // Вестник Воронежского ГАУ. Т. 12, № 4 (63). С. 105–112.
15. Еремин Д.И., Демин Е.А. Особенности по- требления калия кукурузой в лесостепной зоне Зауралья // Известия Оренбургского ГАУ. 2017. №6 (68). С. 41–44.
16. Калийный потенциал чернозема выщело- ченного и урожайность кукурузы на силос в зависимости от систем удобрений в услови- ях Ставропольской возвышенности / С.А. Коростылев [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. 2016. № 1 (21). С. 177–182.
17. Бобренко И.А., Кантарбаев Э.Е., Кальяска- рова А.Е. Агрехимические и агротехниче- ские аспекты возделывания различных гибридов кукурузы в Северном Казахстане. Петропавловск, 2020. 172 с.
18. Демин Е.А., Еремин Д.И. Динамика нарастания биомассы кукурузы в лесостепной зоне Зауралья // Агропродовольственная политика России. 2017. № 6 (66). С. 10–14.

References

1. *Cedik O.D., Kravcov V.I.* Perspektivy ispol'zovaniya na prodovol'stvennyye celi zerna kukuruzy, vyraschivaemogo v Respublike Belarus' // Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo universiteta prodovol'stviya. 2016. № 1 (20). S. 24–28.
2. *Ahtariev R.R., Rzaeva V.V., Miller S.S.* Vliyanie sposobov osnovnoj obrabotki pochvy na urozhajnost' gibridov kukuruzy // Vestnik Michurinskogo GAU. 2020. № 4 (63). S. 96–99.
3. *Prudnikov A.D., Kuryatov P.A.* Proizvodstvo kukuruzy na silos v Smolenskoj oblasti s ispol'zovaniem aminokislotnyh biostimulyatorov // Kormoproizvodstvo. 2020. № 1. S. 41–44.
4. Znachenie selekcionnogo indeksa novyh gibridov kukuruzy na zerno pri vyraschivanii na borage i pri oroshenii / *O.N Panfilova* [i dr.] // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2020. № 3. S. 23–28.
5. *Gubin S.V., Loginova A.M., Getc G.V.* `Ekologicheskaya adaptivnost' novyh gibridov kukuruzy s uchastiem linij Omskoj selekcii // APK Rosii. 2020. T. 27, № 3. S. 421–426.
6. *Semina S.A., Gavryushina I.V.* Vliyanie uslovij mineral'nogo pitaniya na formirovanie urozhajnosti zerna kukuruzy // Nauchnaya zhizn'. 2019. T. 14, № 7 (95). S. 1097–1106.
7. *Sidorov A.V., Moiseev A.A., Ivojlav A.V.* Vliyanie mineral'nyh udobrenij na himicheskij sostav zerna i vynos osnovnyh `elementov pitaniya v usloviyah lesostepi Srednego Povolzh'ya // Agrohimiya. 2020. № 9. S. 18–23.
8. *Demin E.A., Barabanschikova L.N.* Vynos `elementov pitaniya kukuruzoj, vyraschivaemoj na zelenuyu massu po zernovoj tehnologii v usloviyah lesostepnoj zony Zaural'ya // Vestnik Michurinskogo GAU. 2020. № 2 (61). S. 90–94.
9. *Eremin D.I.* Vliyanie dlitel'nogo ispol'zovaniya organomineral'noj sistemy udobrenij zernovogo sevooborota na dinamiku podvizhnogo kaliya chernozema vyschelochennogo // Plodorodie. 2016. № 2 (89). S. 28–31.
10. *Eremina D.V., Eremin D.I.* Fertility of agrogenic and postagrogenic chernozems of Western Siberia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, interagromash 2019.
11. *Demin E.A.* Optimizaciya mineral'nogo pitaniya vyraschivaemoj po zernovoj tehnologii kukuruzy v lesostepnoj zone Zaural'ya: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk: 06.01.04. Tyumen', 2019. 16 s.
12. *Yakimenko V.N.* Vliyanie urovnya kalijnogo pitaniya na produktivnost' kukuruzy i fond kaliya v pochve // Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki. 2005. № 5. S. 23–29.
13. *Dzyuin G.P., Dzyuin A.G.* Ko`efficienty ispol'zovaniya azota, fosfora i kaliya iz mineral'nyh udobrenij, navoza i pochvy kul'turami sevooborota // Mezhdunarodnyj zhurnal `eksperimental'nogo obrazovaniya. 2016. № 5. S. 83–90.
14. *Podrezov P.I., Myazin N.G.* Vliyanie mnogoletnego primeneniya udobrenij na agrohimiicheskie svojstva chernozema tipichnogo, urozhajnost' i kachestvo vozdeleyvaemoj na silos kukuruzy // Vestnik Voronezhskogo GAU. T. 12, № 4 (63). S. 105–112.
15. *Eremin D.I., Demin E.A.* Osobennosti potrebnosti kaliya kukuruzoj v lesostepnoj zone Zaural'ya // Izvestiya Orenburgskogo GAU. 2017. №6 (68). S. 41–44.
16. Kalijnij potencial chernozema vyschelochennogo i urozhajnost' kukuruzy na silos v zavisimosti ot sistem udobrenij v usloviyah Stavropol'skoj vozvyshennosti / *S.A. Korostylev* [i dr.] // Vestnik APK Stavropol'ya. 2016. № 1 (21). S. 177–182.
17. *Bobrenko I.A., Kantarbaev `E.E., Kal'yaskarova A.E.* Agrohimiicheskie i agrotehniicheskie aspekty vozdeleyvaniya razlichnyh gibridov kukuruzy v Severnom Kazahstane. Petropavlovsk, 2020. 172 s.
18. *Demin E.A., Eremin D.I.* Dinamika narastaniya biomassy kukuruzy v lesostepnoj zone Zaural'ya // Agroprodovol'stvennaya politika Rossii. 2017. № 6 (66). S. 10–14.