

РОЛЬ СООТНОШЕНИЯ Са:К В ПОЧВЕ ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ И АССИМИЛЯЦИИ НИТРАТА КУКУРУЗОЙ

М. Н. КОНДРАТЬЕВ, М. Ф. КОСТЮКОВИЧ, Н. Н. ТРЕТЬЯКОВ

(Кафедра физиологии растений)

Изучение особенностей поглощения, транспорта и ассимиляции неорганических форм азота различными сельскохозяйственными культурами имеет важное значение, связанное, в частности, с необходимостью выявления возможностей прогнозирования интенсивности накопления белков в растениях и регулирования содержания нитратов в их вегетативных органах. При высоком содержании азота в почве растения из-за неблагоприятных внешних условий, а также ограниченных генетических возможностей, проявляющихся в низкой активности ферментов редукции нитрата, не в состоянии включить в метаболизм весь поступивший из почвы азот. Они вынуждены утилизировать его в безвредной для себя форме: в виде амидов [6], основных аминокислот [4], увеличивать пул первичных аминокислот [1], выделять часть азота в окружающую среду [6]. Результат воздействия любого фактора внешней среды на накопление нитратов определяется его влиянием как на процесс их поглощения корнями, так и на функционирование нитраторедуцирующей системы.

Одной из основных причин, обуславливающих накопление в сельскохозяйственных растениях нитратов в производственных условиях, является их повышенная концентрация во внешней среде, создаваемая при внесении высоких доз азотных удобрений [9]. В этом случае ион нитрата интенсивно поглощается растением, причем то или иное количество нитратов (в зависимости от вида растения) восстанавливается до аммиака и включается в состав органических соединений уже в корнях, однако большая их часть транспортируется в надземные органы, где может накапливаться в вакуолях клеток (запасном пуле) [17]. Интенсивность перемещения ионов нитрата из запасного пула в метаболический (цитоплазму, хлоропласты) определяется скоростью их восстановления, зависящей, в свою очередь, от возраста листа, температуры воздуха, интенсивности света, общего состояния растения [14].

Таким образом, содержание нитратов в растении определяется следующими основными процессами: 1) интенсивностью их поступления из внешней среды, 2) интенсивностью перераспределения из запасного пула в метаболические, 3) скоростью восстановления до аммиака.

Проведение лабораторных опытов с одно-, двух-, трехсолевым растворами нитратов калия, кальция и магния, а также опытов с изолированным питанием позволило установить [3], что ион нитрата с наибольшей скоростью поглощается растением из раствора нитрата калия. Введение в раствор ионов магния и особенно кальция снижало интенсивность его поглощения корнями кукурузы. С другой стороны, при изменении в питательной среде соотношения кальция, магния и калия в пользу первых двух существенно увеличивалось накопление белков в вегетативных и репродуктивных органах растений [2].

В этой связи представляется необходимым изучить возможность регулирования процессов поглощения и ассимиляции неорганических

форм азота путем изменения соотношения кальция и калия в полевых условиях.

Объект и методы исследования

Опыт проводился на опытном поле лаборатории полеводства Тимирязевской академии в 1983 г. с гибридом кукурузы Буковинский ЗТВ. Размер учетной делянки 5 м², повторность 4-кратная. Делянки распределялись рендомизированно. Почва дерново-подзолистая средне-суглинистая, содержание гумуса 2,6%, P₂O₅ — 13,2 мг, калия — 10,6 мг на 100 г, рН_{сол} в слое 0—20 см — 6,58.

Во всех четырех вариантах опыта вносили аммиачную селитру в норме 300N в 2 срока (перед посевом и в период разворачивания 9-го листа). Различались варианты соотношением Са : К 1 — контроль без К и Са; 2 — 30К120Са; 3 — 75К75Са; 4 — 120К30Са, — которые применяли соответственно в виде K₂HPO₄ и СаНРО₄ перед посевом.

В связи с засушливым летним периодом в середине вегетации производился полив из расчета 60 л/м². Растения и образцы почвы для анализа на содержание в них влаги и нитратов отбирали 4 раза в течение вегетации. Содержание ионов нитрата определяли с помощью ион-селективного электрода.

Результаты

Варьирование соотношения Са : К в почве не оказывало существенного влияния на урожай сырой массы целых растений и накопление сухого вещества в листьях и стеблях (таблица). Отмечалась тенденция к их увеличению с ростом нормы калия лишь к началу молочной спелости. Отсутствие четко выраженного влияния норм калия, очевидно, связано с недостатком в почве влаги (рис. 1, А). В течение вегетационного периода влажность почвы приближалась к критической, в связи с чем между фазами выметывания и цветения початка был проведен полив, что позволило поднять влажность пахотного слоя до уровня, близкого к оптимальному. В почве всех вариантов между фазами 8-го листа и выметывания наблюдалось заметное увеличение концентрации ионов нитрата (рис. 1, Б), что объясняется внесением в этот период второй половины запланированной нормы азота.

Минимальная концентрация ионов нитрата в почве была в варианте, где калий преобладал над кальцием, а максимальная — в варианте преобладания кальция над калием и в контроле. Следовательно, уже на основании данных химического анализа почвы можно было предположить, что при прочих равных условиях (нитрификация, денитрификация) ионы нитрата будут с большей интенсивностью поглощаться из почвы, где калий значительно (в 4 раза) преобладал над кальцием.

Из рис. 2 следует, что содержание нитратов в корнях и стеблях находится в прямой зависимости от концентрации ионов нитрата в

Накопление сухого вещества в листьях (Л) и стеблях (С) кукурузы
(% от сырой массы)

Вариант опыта	Фаза развития (день со времени появления всходов)								Урожай сырой биомассы, кг/м ²
	8 листьев (42)		выметывание (56)		цветение початка (70)		молочная спелость (84)		
	л	с	л	с	л	с	л	с	
Контроль	15,6	7,2	23,4	11,7	23,1	14,0	23,0	16,1	3,4
30К120Са	16,6	7,6	23,2	11,4	23,4	14,2	23,8	16,9	3,6
75К75Са	16,5	7,0	22,6	11,2	23,5	13,5	24,8	17,9	3,9
120К30Са	15,3	7,0	21,2	12,3	24,2	14,1	26,0	18,1	4,0

почве. Так, увеличение этой концентрации в фазу выметывания (рис. 1, Б) предопределило значительное накопление нитратов и в корнях, и в стеблях в фазу цветения початка. Имеется полное основание заключить, что корни и особенно стебли кукурузы являются своего рода вместилищами избыточных количеств ионов нитрата. Данное заключение отчасти подтверждается и тем, что именно в этих органах на протяжении эксперимента концентрация нитратов была наибольшей.

В листьях указанная зависимость отмечена только в варианте с преобладанием калия над кальцием, в других вариантах содержание нитратов в листьях снижалось от фазы выметывания к фазе молочной спелости зерна (рис. 2).

Увеличение соотношения Са:К приводило к снижению содержания нитратов во всех исследованных вегетативных органах кукурузы, но наиболее заметным оно было в корнях и листьях — главных органах ассимиляции поглощенного нитрата. Снижение концентрации нитратов наблюдалось уже при равном соотношении Са:К, а в листьях — лишь при значительном преобладании кальция над калием, что, очевидно, связано с медленным транспортом кальция в надземные органы [18].

Следует обратить внимание на то, что при высоких дозах азота, вносимых под кукурузу, концентрация ионов нитрата в корнях остается на более высоком уровне, чем в других вегетативных органах. Данное обстоятельство, очевидно, объясняется тем, что при указанной обеспеченности растений азотом центральным местом ассимиляции поглощенного нитрата становятся листья. Если в корнях накопление ионов нитрата в основном определяется дозой вносимого в почву азота и лишь частично изменяется под воздействием соотношения Са:К, то в стеблях и листьях эффект дозы в значительной степени нивелируется при соответствующем соотношении Са:К, вследствие чего кон-

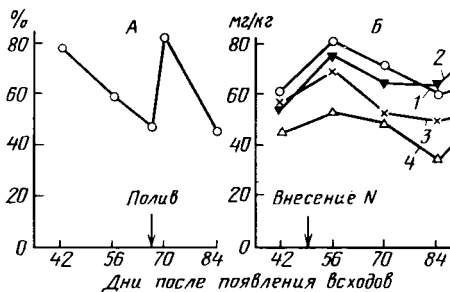


Рис. 1. Динамика содержания в почве влаги (А) и нитратов (Б).

1 — контроль; 2 — 30К120Са; 3 — 75К75Са; 4 — 120К30Са.

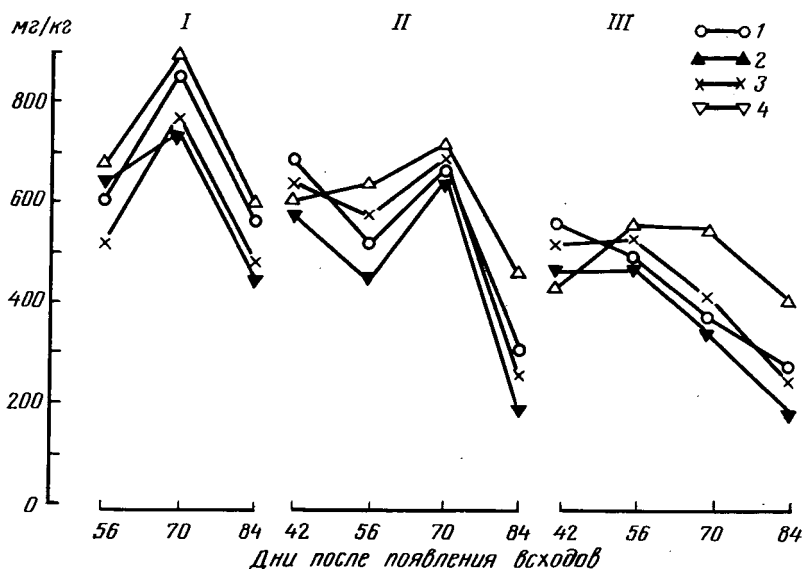


Рис. 2. Динамика накопления нитратов в корнях (I), стеблях (II) и листьях (III) кукурузы.

Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

центрация нитрата в названных органах кукурузы в варианте с преобладанием кальция над калием не превышает допустимой (200 мг NO_3 на 1 кг сырой массы).

Обсуждение

На основании имеющихся данных о физиологической роли калия, магния, кальция [5, 7, 8, 11] принято считать, что кальций вносится в почву не только с целью устранить повышенную кислотность и вредное влияние высоких концентраций алюминия, закисных соединений железа, марганца, но и с целью обеспечить растения этим элементом питания. В науке утвердились представления о важной роли кальция в регулировании структуры и проницаемости мембран [12], деятельности ряда транспортных АТФ-аз [19], о его участии в качестве кофактора в редукции нитратов и нитритов [16], ассимиляции аммония [13], реакциях трансминирования [15], биосинтезе белков [11]. Анализ полученных нами данных показывает, что воздействие ионов кальция на названные физиологические процессы, по всей видимости, проявляется последовательно, что находит отражение в изменении состава азотистых соединений клеток, тканей и органов растений. Изменения ростовых характеристик растений в нашем эксперименте практически не отмечалось до фазы молочной спелости (таблица).

Положение о влиянии ионов кальция на транспортные процессы и проницаемость мембран клеток корня косвенно подтверждается данными о том, что более высокой концентрации ионов нитрата в почве варианта, где кальций существенно преобладал над калием, соответствует меньшее их содержание в корнях растений и наоборот (рис. 1, Б и 2). Другими словами, дисбаланс в почве между калием и кальцием в пользу первого приводит к увеличению скорости поступления нитрата в ткани растений, что отмечено и в ряде исследований, выполненных в факторостатных условиях [3, 10]. Однако еще остается неясным, существует ли между ними причинная связь или каждый из названных ионов поглощается клетками самостоятельно.

Как отмечалось выше, концентрация нитратов в органах растения, где происходит их восстановление, определяется интенсивностью притока, перераспределения (из неметаболического пула в метаболический) и ассимиляции ионов нитрата. Внесение второй половины запланированной нормы азота привело к существенному увеличению концентрации ионов нитрата как в почве (рис. 1, Б), так и в корнях растений (рис. 2), причем их накопление в тканях корней происходило практически с одинаковой интенсивностью во всех вариантах за исключением того случая, когда калий и кальций вносили в почву в равных количествах. Явление антагонизма между ионами проявляется в большей степени тогда, когда они находятся в растворе в приблизительно равном соотношении [18]. Однако активирующее воздействие ионов кальция на ассимиляцию нитрата в корнях проявилось уже в фазе цветения початка и отмечалось до окончания эксперимента. Это положение подтверждают данные о содержании нитрата в стеблях и листьях кукурузы, которое было минимальным в варианте с преобладанием кальция в почве.

Таким образом, при использовании под кукурузу, выращиваемую на зеленый корм, высоких доз азотных удобрений следует обращать внимание не только на реальную обеспеченность растений фосфором и калием, но и на складывающееся в почве соотношение Са:К. Растения более рационально используют азот, находящийся в почве, и эффективно ассимилируют неорганические соединения азота тогда, когда соотношение в почве между кальцием и калием больше единицы.

Выводы

1. В условиях относительно засушливого вегетационного периода соотношение Са:К в почве на фоне высокой дозы азотного удобрения

не оказывало заметного влияния на формирование биомассы и накопление сухого вещества кукурузой.

2. Содержание нитратов в корнях и стеблях кукурузы находится в прямой зависимости от концентрации ионов нитрата в почве. Преобладание в почве калия над кальцием интенсифицирует поступление ионов нитрата в вегетативные органы кукурузы, в то время как преобладание кальция над калием способствует более рациональному использованию азота почвы растением и усиливает процесс ассимиляции нитрата в корнях и листьях.

3. При использовании высоких доз азотных удобрений под кукурузу на зеленый корм следует контролировать складывающееся в почве отношение между кальцием и калием, которое должно быть больше единицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев М. Н. Некоторые пути нейтрализации эндогенного аммиака растениями фасоли в условиях дефицита магния и кальция. — Физiol. и биохим. культ. растений, 1977, т. 9, № 5, с. 501—505.
2. Кондратьев М. Н. Состав азотистых соединений зерна фасоли в условиях преобладания двухвалентных катионов в питательной среде. — Изв. ТСХА, 1983, вып. 2, с. 110—116.
3. Кондратьев М. Н., Химица Е. Г., Третьяков Н. Н. Влияние калия, кальция и магния на поглощение нитрата кукурузой. — Рукопись деп. во ВНИИТЭИСХ 24/XI-80 Деп.
4. Кретович В. Л. Обмен азота в растениях. М.: Наука, 1972.
5. Плешков Б. П., Кондратьев М. Н. Азотистые соединения проростков пшеницы при дефиците магния и кальция в питательной среде. — Изв. ТСХА, 1971, вып. 6, с. 86—94.
6. Прянишников Д. Н. Избр. тр. М.: Наука, 1976.
7. Шкляев Ю. Н. Магний в жизни растений. М.: Наука, 1981.
8. Barker A. — J. Plant Nutr., 1979, vol. 1, N 3, p. 309—342.
9. Vecka J., Miča V. — Agrochemia (Bratislava), 1981, г. 21, с. 7, s. 193—197.
10. Cantliffe D. I. — Agron. J., 1973, vol. 65, N 4, p. 563—565.
11. Christiansen M. N., Foy C. D. — Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1979, vol. 10, N 1—2, p. 427—442.
12. Epstein E., Hagen C. E. — Plant Physiol., 1952, vol. 27, N 3, p. 457—474.
13. Harper J. E., Paulsen G. M. — Plant Physiol., 1969, vol. 44, N 1, p. 69—81.
14. Naik M. S., Abrol Y. F., Nair T. V. R., Ramarao C. S. — Phytochemistry, 1982, vol. 21, N 3, p. 495—504.
15. O'Neal D., Yoy K. W. — Arch. Biochem. a. Biophys., 1973, vol. 159, N 1, p. 113—119.
16. Sasakawa H., Yamamoto Y. — Plant a. Cell Physiol., 1977, vol. 18, N 1, p. 215—224.
17. Steer B. T. — Ann. Bot., 1982, vol. 49, N 2, p. 191—198.
18. Wallace A., Mueller R. T. — J. Plant Nutr., 1980, vol. 2, N 1—2, p. 247—256.
19. Wignarajah K., Lundborg T., Björkman T., Kylin A. — Oikos, 1983, vol. 40, N 1, p. 6—13.

Статья поступила 6 февраля 1984 г.

SUMMARY

On the basis of small-plot field experiment results with corn being grown on the soil rich in nitrogen (N_{300}) under various Ca:K ratio in the soil the article concludes that prevalence of calcium results in more rational utilization of soil nitrogen and active assimilation of inorganic nitrogen forms in the plant.