

дезинтеграцию клеток паренхимы стебля. Слабое развитие опорных корней, которое наблюдали исследователи, приводило к «корневому полеганию», проявившемуся в начале сезона – после стадии R1 (выметывания пестичных столбиков). Дезинтеграция клеток паренхимы стебля приводила к «ломкости стебля», которая проявилась позже – в стадию R5 (образования углубления на верхушке зерновок). Болезней стебля не наблюдалось до стадии физиологической спелости (R6), когда паренхимная ткань стебля уже значительно дезинтегрировалась.

Бозвелл и Паркс (Boswell and Parks, 1957) продемонстрировали, что гибриды кукурузы различаются по устойчивости к корневому полеганию и ломкости стебля. Однако независимо от устойчивости гибрида, при низкой обеспеченности почвы калием корневое полегание и ломкость стебля в их исследовании повышались в среднем на 12%.

Было показано, что при низком содержании калия в стебле ломкость стебля зависит от соотношения в нём элементов питания N:K. Когда содержание N в стебле в 3-4 раза превышало содержание K (в пересчете на элемент), наблюдалось разрушение клеток паренхимы (Liebhardt and Murdock, 1965). Фишер и Смит (Fisher and Smith, 1960) изучили отдельно влияние N и K на полегание кукурузы и установили, что интенсивность полегания возрастает, когда N вносится без K на почвах с низким содержанием доступного K (рис. 2), что согласуется с результатами Либхардта и Мердока (Liebhardt and Murdock, 1965).

Полегание также может вызываться грибными болезнями, которые, как было показано, усиливаются при недостатке калия. В своем недавнем обзоре Прабху с соавт. (Prabhu et al., 2007) выделил три патогена, вызывающих стеблевые гнили (*Fusarium moniliforme*, *Gibberella zeae* и *Diplodia zeae*), к которым кукуруза наиболее восприимчива при недостатке калия.

Наряду с краевым хлорозом и некрозом листьев –

наиболее хорошо известными внешними признаками дефицита калия, существуют и другие симптомы недостатка этого элемента питания, которые проявляются у растений кукурузы. Хотя представленный обзор и не является полным, рассмотренные в нём задержки роста и изменения в развитии растений кукурузы помогут фермерам и консультантам по растениеводству проводить наблюдения за состоянием растений в поле. Эти отставания и изменения в развитии растений бывает трудно выявить, особенно когда на поле нет контрольного участка с достаточной обеспеченностью растений калием. В связи с этим рекомендуется заложить подобный участок и сохранять его в севообороте, чтобы всегда использовать данный участок для сравнения.

Д-р Мюррелл (e-mail: smurrell@ipni.net) – Директор Международного института питания растений по Северу Центральной части США, г. Вест-Лафайет, штат Индиана, США.

Литература

- Boswell, F.C. and W.L. Parks. 1957. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 21:301.
Bly et al., 2002. *Better Crops* 86(3):12-15.
Fisher, F.L. and O.E. Smith. 1960. *Agron. J.* 52:201.
Jordan-Meille, L. and S. Pellerin. 2004. *Plant Soil* 265:75-92.
Koch, D.W. and G.O. Estes. 1975. *Crop Sci.* 15:697-699.
Liebhardt, W.C. and J.T. Murdock. 1965. *Agron. J.* 57:325.
Peaslee et al. 1971. *Agron. J.* 63:561.
Prabhu et al. 2007. p. 57-78. In Datnoff et al. (ed.) *Mineral nutrition and plant disease. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota.*
Watson, D.J. 1947. *Ann. Bot.* 11:41-76.
Younts, S.E. and R.B. Musgrave. 1958. *Agron. J.* 50:423-426.

Перевод с английского и адаптация: В.В. Носов.

Кому принадлежит доминирующая роль в подавлении стеблевых гнилей кукурузы при применении хлористого калия: калию или хлору?

Цз. Цзинь, Кс. Лиу и П. Хэ

Стеблевые гнили кукурузы – вредоносные болезни растений, широко распространенные в основных регионах возделывания кукурузы в Китае. Как показали проведенные ранее исследования, хлористый калий играет значимую роль в подавлении стеблевых гнилей кукурузы. В настоящей работе изучалось влияние питания растений калием и хлором на поражение кукурузы указанными болезнями. Было показано, что калий выполняет важные функции в процессе подавления стеблевых гнилей кукурузы.

Стеблевые гнили кукурузы – группа болезней, которые становятся все более распространенными при выращивании кукурузы в Китае. Средние ежегодные потери урожая зерна кукурузы в этой стране от поражения стеблевыми гнилями составляют примерно 20%, а на отдельных полях могут достигать и 50%. Давно известно, что калий играет важную роль в снижении заболеваемости растений. Применение калийных удобрений – одна из немногих эффектив-

ных мер по подавлению стеблевых гнилей кукурузы. Как показали результаты 12-летнего полевого опыта, проведенного в провинции Цзилинь¹, внесение в почву хлористого калия снижает степень распространения стеблевых гнилей кукурузы на 48% (Liu et al., ¹В данной провинции Китая широко распространена фузариозная стеблевая гниль кукурузы, и одним из доминирующих видов возбудителей является *Fusarium graminearum* (здесь и далее – прим. переводчика).

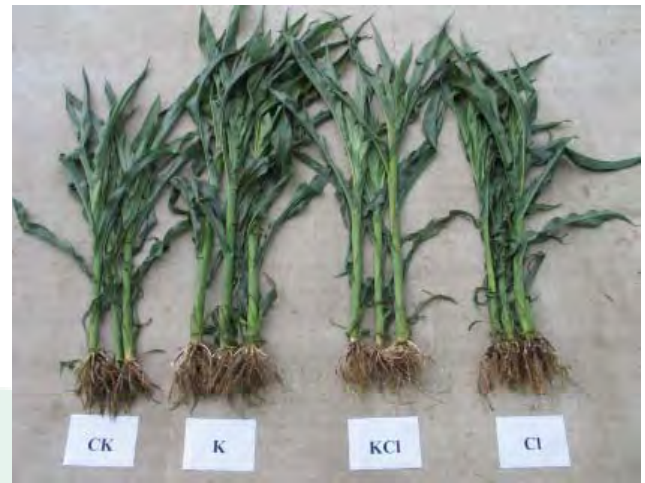
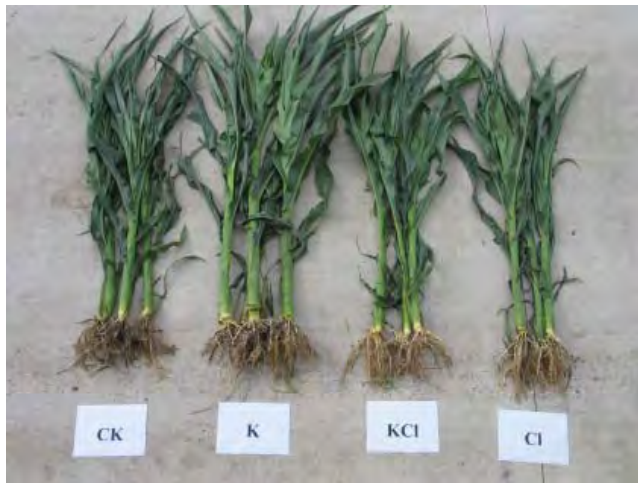


Рис. 1. Раздельное и совместное влияние калия и хлора на развитие гибридов кукурузы Цзидань 180 (вверху) и Цзидань 327 (внизу) в период удлинения междоузлий.

2007). Однако вопросу о том, какой именно элемент в хлористом калии (калий или хлор) играет доминирующую роль в подавлении стеблевых гнилей кукурузы, в целом уделялось недостаточно внимания. Поэтому настоящее исследование и было посвящено изучению данного вопроса.

Провинция Цзилинь считается «кукурузным поясом» Китая, поскольку она занимает первое место по площадям, ежегодно засеваемым кукурузой (Jia, 2004). В 2005 г. в районе г. Гонгжулин провинции Цзилинь был проведен полевой опыт, который включал следующие варианты: внесение NP-удобрений — фон и применение на этом фоне калий- и хлорсодержащих удобрений в различных сочетаниях и дозах (K120, K240, K120Cl90, K240Cl180, Cl90 и Cl180). Расположение делянок — рандомизированное, повторность — 4-кратная. Размер делянок — 40 м². Значение pH водной суспензии и содержание доступных форм элементов питания в слое почвы 0-20 см перед закладкой опыта даются в **табл. 1**. Содержание доступных форм элементов питания в почве определялось с помощью методов анализа почв, используемых «Агро Сервисиз Интернэшнл» (Agro Services International) (PPI/PPIC Beijing Office, 1992). Исходя из результатов почвенных анализов, в почву перед посевом внесли также S, Zn и Cu в дозах 20, 10 и 1.0 кг/га (в пересчете на элемент), соответственно. Поскольку почва была хорошо обе-

спечена доступным кальцием, и сельскохозяйственные культуры в выбранном регионе не отзываются на внесение в почву кальция, для оценки влияния хлора на урожайность кукурузы и поражение растений болезнями в почву вносили хлористый кальций (CaCl₂). Для изучения совместного действия калия и хлора был использован хлористый калий (KCl). Эффективность только калия оценивалась при внесении в почву калийной селитры (KNO₃). Дозы удобрений по вариантам опыта приведены в **табл. 2**. В опыте выращивали два коммерческих гибрида кукурузы — Цзидань 180, который характеризуется умеренной устойчивостью к стеблевым гнилям, и Цзидань 327, который считается восприимчивым к данным болезням. Густота стояния растений составила 50 тыс. растений/га. Степень распространения стеблевых гнилей кукурузы оценивалась перед уборкой.

В период удлинения междоузлий по вариантам опыта наблюдались заметные различия в развитии выбранных двух гибридов кукурузы с разной устойчивостью к стеблевым гнилям (см. **рис. 1**). Под действием внесенного в почву калия, а также калия совместно с хлором, у обоих гибридов кукурузы наблюдалось значимое снижение степени распространения стеблевых гнилей перед уборкой и прирост урожайности зерна (**табл. 3**). При внесении одного хлора подобного эффекта не наблюдалось. У гибрида Цзидань 327 степень

Таблица 1. Исходная характеристика почвы опытного участка (провинция Цзилинь).

Гумус, %	N-NH ₄	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn	Cl	pH _{H2O}
	мг/кг почвы			г/кг почвы			мг/кг почвы						
2.4	8.6	5.9	42.4	3.0	0.4	12.9	1.8	102.5	12.8	2.7	1.0	30.2	5.8

Таблица 2. Дозы минеральных удобрений по вариантам опыта, кг д.в./га.

Вариант опыта	Ca(NO ₃) ₂	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	KNO ₃		KCl		CaCl ₂
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	K ₂ O	Cl	Cl
NP (фон)	200	120	-	-	-	-	-
+ K ₁₂₀	158	120	120	43	-	-	-
+ K ₂₄₀	114	120	240	86	-	-	-
+ K ₁₂₀ Cl ₉₀	200	120	-	-	120	91	-
+ K ₂₄₀ Cl ₁₈₀	200	120	-	-	240	182	-
+ Cl ₉₀	200	120	-	-	-	-	91
+ Cl ₁₈₀	200	120	-	-	-	-	182

Таблица 3. Влияние калия и хлора на степень распространения стеблевых гнилей и урожайность двух гибридов кукурузы.

Вариант опыта	Цзидань 180				Цзидань 327			
	Степень распространения болезней, %	Снижение, %	Урожай зерна, кг/га	Прибавка, %	Степень распространения болезней, %	Снижение, %	Урожай зерна, кг/га	Прибавка, %
NP (фон)	24.6 a ¹	-	7114 c	-	34.1 a	-	6925 c	-
+ K ₁₂₀	13.7 b	44.4	9162 a	28.8	17.1 b	50.0	8544 a	23.4
+ K ₂₄₀	12.4 b	49.6	8546 b	20.1	12.3 b	63.8	7839 ab	13.2
+ K ₁₂₀ Cl ₉₀	10.8 b	55.9	8615 ab	21.1	13.8 b	59.7	8164 a	17.9
+ K ₂₄₀ Cl ₁₈₀	9.9 b	59.8	9050 ab	27.2	12.4 b	63.6	8252 a	19.2
+ Cl ₉₀	17.1 ab	30.3	7373 c	3.6	31.8 a	6.8	6340 c	-8.5
+ Cl ₁₈₀	17.3 ab	29.8	7166 c	0.7	30.4 a	10.8	6509 c	-6.0

¹Одинаковые буквы обозначают отсутствие статистически значимых различий (исходя из НСР, $p < 0.05$).



Рис. 2. У растений кукурузы, не получавших калийного удобрения (ряды слева), листья тускнели и становились серозелеными. В то же время у растений, удобрявшихся калием (ряды справа), листья оставались еще зелеными.



Рис. 3. Ломкость стеблей и обвисание початков – типичные признаки стеблевых гнилей кукурузы. Проведенные в сентябре наблюдения показали, что растения на делянках без внесения калия (вверху) поражались стеблевыми гнилями сильнее, чем растения на делянках с внесением калия (внизу).

распространения стеблевых гнилей снижалась на 50-64%, а урожайность повышалась на 13-23% во всех вариантах опыта с внесением калия, а также калия и хлора. У гибрида Цзидань 180 степень распространения болезней в указанных вариантах снизилась на 44-60%, а урожайность повысилась на 20-29% относительно варианта с внесением только азотных и фосфорных удобрений. Таким образом, стеблевые гнили сильнее подавлялись у восприимчивого к ним гибрида кукурузы, но урожайность зерна в большей степени повышалась у устойчивого к данным болезням гибрида.

При двукратном увеличении дозы хлористого калия, а также хлористого кальция, значимых изменений в степени распространения стеблевых гнилей и урожайности кукурузы не наблюдалось. Поражение кукурузы стеблевыми гнилями снижалось при внесении калия в почву, независимо от формы калийных удобрений.

При увеличении дозы вносимого калия (в форме KNO_3) от 120 до 240 кг K_2O /га наблюдалось снижение урожайности гибрида Цзидань 180, но степень распространения стеблевых гнилей при этом не изменилась. По сравнению с вариантом опыта, где калий вносился в форме KNO_3 в дозе 120 кг K_2O /га (K120), снижение урожайности в других вариантах с внесением калия (K240, K120Cl90 и K240Cl180) частично могло быть вызвано стеблевыми гнилями, но большее влияние, по-видимому, оказывало несбалансированное внесение элементов питания с удобрениями. Аш

и Браун (Ash and Brown, 1991) получили аналогичные результаты – в их исследовании степень распространения болезней не коррелировала с величиной потери урожая, но большое влияние на взаимосвязь между указанными показателями оказывали дозы вносимых азотных удобрений.

Для получения стабильно высоких урожаев выбранных гибридов кукурузы в изученном регионе доза калия в 120 кг K_2O /га представляется наиболее оптимальной, а 240 кг K_2O /га – избыточной. При внесении хлористого калия в дозе по калию 120 кг K_2O /га поло-

жительного взаимодействия между калием и хлором выявлено не было, но есть основания полагать, что хлор помогал ослабить отрицательное влияние двойной дозы хлористого калия (240 кг K_2O /га) на урожайность гибрида Цзидань 180.

В опыте, проведенном Хекманом (Heckman, 1998), внесение в почву хлористого калия приводило к снижению степени распространения стеблевых гнилей кукурузы на 67% по сравнению с вариантом, где в равной по калию дозе вносился сульфат калия. Данные результаты означают, что хлор играет важную роль в подавлении стеблевых гнилей кукурузы. Результаты же наших исследований, напротив, свидетельствуют о том, что в сравнении с калием хлор играет менее важную роль в подавлении указанных болезней кукурузы. Подобные противоречия можно объяснить различиями в содержании доступных растениям форм элементов питания (прежде всего калия и хлора) в изученных почвах. По сообщению Саного и Янга (Sanogo and Yang, 2001), внесение хлористого калия в почву, хорошо обеспеченную обменным калием, на 36% снижало степень развития синдрома внезапной гибели сои² – болезни растений, которая передается через почву. При внесении сульфата калия и калийной селитры степень развития указанной болезни сои, наоборот, повышалась – соответственно на 43% и 45% по сравнению с контрольным вариантом опыта. Таким образом, хлор помогал уменьшить поражение синдромом внезапной гибели сои, а положительного эффекта от внесения в почву калия не наблюдалось. Сравнение содержания доступных форм калия в почве (в слое 0-20 см) в нашем исследовании и в проведенном в США опыте Хекмана, свидетельствует о том, что в опыте Хекмана исходное содержание обменного калия составило 92 мг К/кг почвы, а это более чем в два раза превышает значение указанного показателя в нашем исследовании (табл. 1). Кроме того, в опыте Хекмана содержание хлора в слое почвы 0-30 см составило только 6 мг Cl/кг почвы (низкий уровень), тогда как в нашем исследовании содержание хлора в слое почвы 0-20 см было 30 мг Cl/кг почвы. Следовательно, при недостаточном содержании в почве доступного калия и достаточном содержании хлора питание растений кукурузы калием оказывало гораздо более сильное влияние на поражаемость стеблевыми гнилями, чем питание хлором. Предположительно, питание растений хлором

играет большую роль при достаточной обеспеченности почвы доступным калием и недостаточной обеспеченности хлором.

В заключение следует отметить, что роль калия и хлора в подавлении болезней растений должна изучаться одновременно с определением содержания доступных форм данных элементов питания в почве. Поэтому от обеспеченности почвы доступными растениям формами калия и хлора зависит, какой элемент – калий или хлор играет доминирующую роль в подавлении стеблевых гнилей кукурузы. Для контроля болезней растений и повышения урожайности необходимо выработать стратегию сбалансированного применения минеральных удобрений.

Д-р Цзинь – Региональный директор Международного института питания растений (МИПР) по Китаю, профессор Института сельскохозяйственных ресурсов и регионального планирования (ИСХРиПП) Китайской академии сельскохозяйственных наук (КАСХН); e-mail: jjin@ipni.net.

Д-р Хэ – заместитель регионального директора МИПР по Китаю (программа на Севере Центрального Китая), профессор ИСХРиПП КАСХН; e-mail: phe@ipni.net.

Д-р Лиу – научный сотрудник ИСХРиПП КАСХН; e-mail: liuxy@caas.ac.cn

Литература

- Ash, G.J. and J.F. Brown. 1991. *Australasian Plant Pathology*, 20: 108–114.
- Heckman, J.R. 1998. *Journal of Plant Nutrition*, 21: 149–155.
- Jia, N.X. 2004. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning* 25: 38–42. (in Chinese with English abstract).
- Liu et al. 2007. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 13(2): 279–284. (in Chinese with English abstract).
- PPI/PPIC Beijing Office. 1992. *Systematic Approach for Soil Nutrient Evaluation*. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 54–70. (in Chinese).
- Sanogo, S. and X.B. Yang. 2001. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 23: 174–180.

Перевод с английского и адаптация: В.В. Носов.

Признаки дефицита калия у кукурузы

