

спеченных обменным калием светлых сероземах Южно-Казахстанской области;

- 35-70 кг  $K_2O$ /га под картофель на средне- и высокообеспеченных обменным калием предгорных темно-каштановых почвах Алматинской области.

А. Сапаров - д.с.-х.н., профессор, академик АСХН РК, генеральный директор КазНИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова

Р. Елешев - д.с.-х.н., профессор, академик НАН РК и РАСХН, директор НИИ агробиологии и экологии

Б. Сулейменов – д.с.-х.н., зам.генерального директора КазНИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова

Г. Песковский - к.с.-х.н., агрохимик ЗАО «Белорусская калийная компания»

## Внешние признаки недостатка калия у кукурузы

Маррелл Т.С.

*Краевой хлороз и некроз листьев – общепризнанные симптомы недостатка калия у растений, но не единственные. Существуют и другие проявления дефицита калия, которые могут как сопровождаться, так и не сопровождаться краевым хлорозом и некрозом листьев. При растущем количестве визуальных симптомов есть большая вероятность того, что растения испытывают недостаток калия.*

Общепризнанные симптомы недостатка калия – это краевой хлороз и некроз нижних, старых листьев растений, как показано на фотографии. Однако к моменту появления этих симптомов может произойти уже необратимая потеря урожая зерна кукурузы (Bly et al., 2002). Хотя вышеуказанные признаки наиболее хорошо известны, они не являются единственными визуальными индикаторами недостатка калия у растений. Существует много других проявлений дефицита калия, которые могут появляться как вместе с краевым некрозом, так и без него, и степень их выраженности может существенно варьировать в пределах поля. При растущем количестве визуальных симптомов есть большая вероятность того, что растения испытывают недостаток калия. В данной статье перечислены дополнительные признаки дефицита калия у кукурузы с указанием основных источников данных. Некоторые из приведенных симптомов бывает трудно выявить, особенно когда на поле нет контрольного участка с достаточной обеспеченностью растений калием. Подобный участок можно создать при внесении калия в почву в высоких дозах, которые постоянно корректируются таким образом, чтобы возмещать вынос калия из почвы с урожаем каждой последующей культуры.

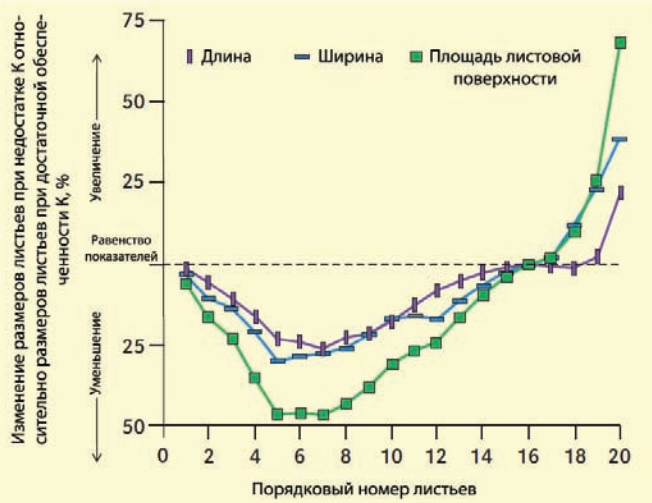
### Снижение высоты растений

За многие годы исследований было показано, что недостаток калия может приводить к снижению высоты растений. Несколько десятилетий назад Яунтс и Мусгрейв (Younts and Musgrave, 1958) продемонстрировали это в двух полевых опытах, в которых изучались разные дозы, формы и способы внесения калийных удобрений. Проанализировав влияние всех факторов, они обнаружили, что удобрением калием статистически значимо ( $p = 0.05$ ) увеличива-



Краевой хлороз и некроз на нижних, старых листьях – визуальный признак недостатка калия. Колышек указывает, что это вариант без калия.

ет высоту растений кукурузы – на 11-28%, 10-12%, 9-16% и 15-36% при измерении, соответственно, на 26-й, 31-й, 44-й и 65-й день после посева.



**Рис. 1.** Размеры листьев (длина и ширина) и площадь листовой поверхности растений при недостатке калия, выраженные в процентах от аналогичных показателей у растений, достаточно обеспеченных калием (Jordan-Meille and Pellerin, 2004).

### Уменьшение размеров листьев и площади листовой поверхности

Показателем, с помощью которого можно количественно оценить относительные различия в размерах листовой поверхности растений, является индекс листовой поверхности. Индекс листовой поверхности (ИЛП) – это отношение площади листовой поверхности растений к единице площади поверхности почвы (Watson, 1947). Джордан-Мейлле и Пеллерин (Jordan-Meille and Pellerin, 2004) обнаружили, что у растений кукурузы, испытывающих недостаток калия, более низкий ИЛП, чем у здоровых растений. По сравнению с листьями растений кукурузы, достаточно обеспеченных калием, большая часть листьев растений, испытывавших недостаток калия, была уже и короче, что снизило площадь их поверхности (рис. 1). Недостаток калия больше всего отразился на размере листьев с 5-го по 7-й – их длина уменьшилась примерно на 25%. На столько же уменьшилась и ширина указанных листьев, что привело к почти 50-процентному снижению площади их поверхности. На размере листьев, появившихся ранее 5-7-го листа или позже, недостаток калия отразился в меньшей степени. Например, длина, ширина и площадь поверхности листьев с 17-го по 20-й были равны или превышали указанные показатели для растений, достаточно обеспеченных калием. Несмотря на то, что более молодые листья имели большую площадь поверхности при дефиците калия, данный прирост был недостаточным, чтобы компенсировать снижение площади поверхности у старых листьев. В конечном итоге при недостатке калия ИЛП растений кукурузы уменьшился.

### Замедление вегетативного роста

Недостаток калия может также замедлять развитие растений кукурузы. Во все периоды отбора растительных образцов Джордан-Мейлле и Пеллерин

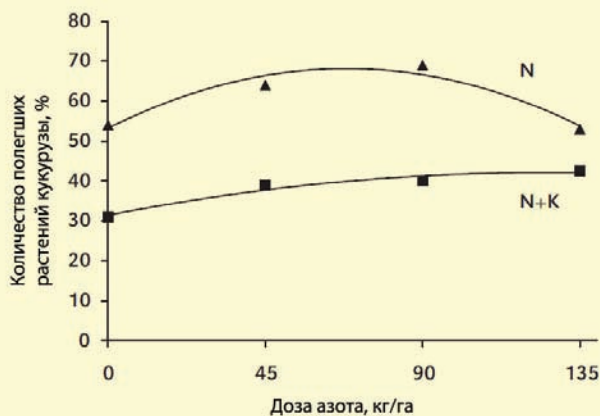
(Jordan-Meille and Pellerin, 2004) отмечали небольшое, но статистически значимое снижение количества появившихся и полностью развитых листьев у растений кукурузы, испытывавших недостаток калия. При этом максимальная разница наблюдалась, когда у растений, достаточно обеспеченных калием, появилось 15 листьев. В это время у растений, которым не хватало калия, количество появившихся листьев было меньше на 0,8 шт. Это указывает на задержку роста кукурузы при дефиците калия почти на одну вегетативную стадию. В проведенном задолго до этого вегетационном опыте Коч и Эстес (Koch and Estes, 1975) в варианте без внесения в почву калия не отмечали отставания по количеству полностью развитых листьев вплоть до конца периода отбора растительных образцов, который продолжался до 11-го листа. Указанные результаты не противоречат данным, полученным Джорданом-Мейлле и Пеллерин (Jordan-Meille and Pellerin, 2004), в работе которых максимальное отставание в развитии растений, составившее менее одного листа, наблюдалось при подсчете появившихся, а не полностью развитых листьев.

### Задержка выметывания метелок

При недостатке калия растениям кукурузы может потребоваться больше времени для достижения стадии роста VT (выметывания метелок), чем растениям, достаточно обеспеченным калием. Пизли с соавт. (Peaslee et al., 1971) при посеве кукурузы в ранние сроки установил, что растениям, неудобренным калием и испытывающим его недостаток, для достижения стадии VT требуется сумма активных температур\* на 47°C выше, чем растениям, хорошо обеспеченным калием. При посеве кукурузы в поздние сроки указанная разница составила 29°C. Яунтс и Мусгрейв (Younts and Musgrave, 1958) получили аналогичные результаты в одном из проведенных ими полевых опытов, в котором применение калийных удобрений на 8-16% увеличивало количество растений, достигнувших стадии VT на 65-й день после посева, и это увеличение было статистически значимым ( $p = 0.05$ ). Однако в другом опыте тех же исследователей внесение калия в почву не приводило к значимому увеличению количества растений, достигнувших к указанному периоду стадии выметывания метелок. Наоборот, при отборе растительных образцов на 61-й день после посева в варианте с внесением хлористого калия в дозе 135 кг  $K_2O/га$  было отмечено статистически значимое ( $p = 0.05$ ) 16-процентное снижение числа растений, достигнувших стадии VT. Таким образом, при недостатке калия возможна задержка сроков выметывания метелок, хотя это и не всегда происходит.

\* Сумма активных температур выше 10°C рассчитывается по следующей формуле:  $(t_{max} + t_{min})/2 - 50$ , где  $t_{max}$  – максимальная суточная температура, принимаемая равной 30°C, если она выше указанной величины;  $t_{min}$  – минимальная суточная температура, принимаемая равной 10°C, если она ниже указанной величины.





**Рис. 2.** Функциональная зависимость между количеством полегших растений кукурузы и дозой N на фоне с внесением K и без внесения K. Представлены усредненные данные для вариантов с внесением 45 и 90 кг  $K_2O$ /га (Fisher and Smith, 1960).

### Задержка выметывания пестичных столбиков

Задерживая сроки выметывания метелок, недостаток калия также приводит к отставанию развития растений и перед выметыванием пестичных столбиков (стадия R1). Яунтс и Мусгрейв (Younts and Musgrave, 1958) установили, что при удобрении кукурузы калием значительно возросло количество растений, которые в зависимости от полевого опыта достигали стадии R1 на 69-73-й день после посева. Данное увеличение составило от 8 до 34%.

### Увеличение полегания

Полегание кукурузы может быть результатом поражения болезнями, повреждения насекомыми-вредителями, плохого развития растений из-за недостатка калия или действия комбинации указанных факторов.

Полегание, вызванное слабым развитием растений в результате недостатка калия, было продемонстрировано Либхардтом и Мердоком (Liebhardt and Murdock, 1965). В своем исследовании они показали, что дефицит калия приводит к ускорению разрушения клеток паренхимы (сердцевины) в опорных корнях и вызывает 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 зерновки). 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 корне-

вое 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 Маррелл (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.