

руп./руп. Расчеты, основанные на прогнозных ценах на К-удобрения и зерно кукурузы, свидетельствуют о том, что с прибавками урожая зерна от калия в 500, 700 и 850 кг/га окупаемость затрат на приобретение К-удобрений получается соответственно 2.3, 3.2 и 2.9 руп./руп. В расчетах была использована текущая МЗЦ

на зерно кукурузы и максимальная прогнозная цена на К-удобрения (33 руп./кг  $K_2O$ ), и при этом фермеры получают приемлемую прибыль от их применения (рисунок 5).

Перевод с английского под редакцией: В.В. Носова.

## Использование технологий точного земледелия для управления содержанием калия в почве в прикорневой зоне кукурузы – размышления о будущем

Т.С. Мюррелл, Т.Дж. Вин

*Системы автоматического управления, применяемые в технологиях точного земледелия, позволяют контролировать удобряемый объем почвы, чтобы со временем создать зоны с высоким плодородием. Однако еще не совсем понятно, как это надо делать, чтобы обеспечить оптимальную отзывчивость растений на удобрения в краткосрочной и долгосрочной перспективе. При определении оптимального места для внесения К-удобрений в почву необходимо учитывать их последствие при внесении лентами, а также перераспределение калия в почве, которое обычно происходит в результате роста и развития данной культуры. Исследования показывают, что содержание калия в почве в большей степени зависит от того, проходил ли через данную точку поля ряд предшествующей культуры, чем от местоположения лент, куда ранее вносились калийные удобрения.*

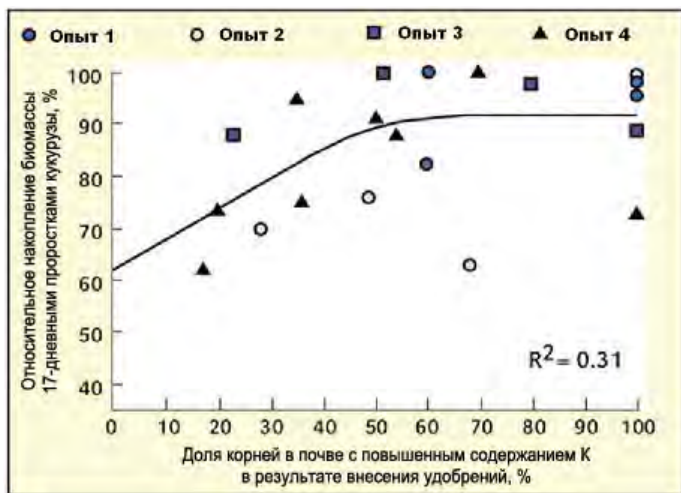
Современные системы точного земледелия способны обеспечивать очень высокий уровень точности определения положения оборудования на поле. Для существующего оборудования указывается максимальная точность прохода агрегата до 2.54 см. Эти технологии в сочетании с ГИС-программами позволяют определять местоположение агрегатов, а также регистрировать и запоминать каждый проход техники.

Такие характеристики обеспечивают новые возможности для оптимизации способа и места для внесения удобрений, особенно при внесении удобрений лентами до посева (например, глубокое ленточное внесение при полосовой обработке почвы) или при посеве. Вместо случайного размещения удобренных полос на поле и недостаточной информации об их расположении в предыдущие годы, фермеры могут теперь размещать ленты удобрений с учетом места их внесения в предыдущие годы. При желании фермер может вносить удобрение в одну и ту же полосу из года в год или смещать ленты на определенное расстояние. Таким образом можно контролировать объем удобряемой почвы более точно, чем прежде. Однако остается невыясненным вопрос о том, как следует размещать ленты при внесении удобрений в течение длительного времени для того, чтобы добиться максимальной рентабельности и урожайности.

Настоящая статья посвящена вопросам оптимизации внесения К-удобрений лентами под кукурузу в течение длительного времени. В отличие от азота и фосфора, локальное внесение калия не приводит к разрастанию корней в зоне, обогащенной этим элементом (Claassen and Barber, 1977). Следовательно, для того, чтобы корни полностью использовали повышенную концентрацию калия в удобренной полосе, одновременно следует внести азот или фосфор, или оба эти элемента.

В настоящее время при изучении различных способов обработки почвы и способов внесения удобрений, акцент делается на определение объема почвы в который должны вноситься удобрения для достижения максимальной урожайности кукурузы. Некоторую ясность в ответ на этот вопрос внесли Клаассен и Барбер (Claassen and Barber, 1977). Результаты исследования с растениями кукурузы, выращиваемыми в вегетационных сосудах в ростовой камере, показали, что в среднем максимальное накопление надземной биомассы у 17-дневных растений наблюдалось при обработке К-удобрениями не менее 50% объема почвы (рис. 1). Однако эти результаты не могут быть непосредственно перенесены в поле, учитывая вариабельность глубины корнеобитаемого слоя и других факторов при высокой плотности посевов, а также необходимость оценки их кумулятивного воздействия в течение всего вегетационного периода.

Преобладание почвозащитных систем земледелия привело к стратификации элементов питания на многих полях, при этом содержание фосфора и калия вблизи поверхности оказывается выше, чем в более глубоких слоях почвы. (Robbins and Voss, 1991). Монкриф с соавт. (Moncrief et al., 1985) показали, что при минимальной обработке почвы в сочетании с внесением удобрений вразброс стратификация элементов питания происходит достаточно быстро. В этой работе изучалось внесение калийных удобрений весной при нулевой обработке почвы и предпосевное внесение в сочетании с обработкой почвы чизельным плугом и культиватором. При этом было установлено, что спустя 2 месяца после внесения удобрений более высокое содержание К в почве, экстрагируемого раствором ацетата аммония, наблюдалось в верхних слоях почвы. Дифференцированное определение содержания К в почве на глубине 0–5,

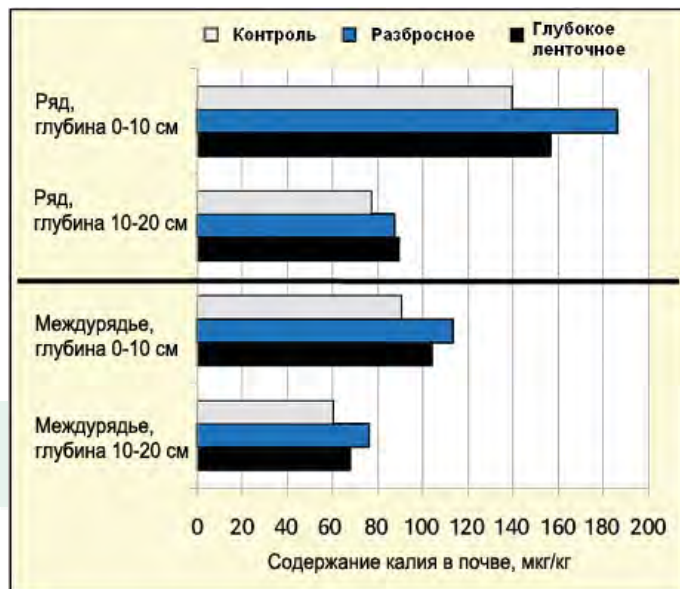


**Рис. 1.** Соотношение между относительным выходом надземной биомассы 17-дневных растений кукурузы и содержанием корней в почве, удобренной калийным удобрением (Classen and Barber, 1977).

5–10 и 10–20 см позволило выявить стратификацию калия в почве в предыдущий год выращивания кукурузы при различных обработках почвы весной (нулевая обработка, полосовая обработка и культивация) спустя 12 месяцев после внесения К-удобрений вразброс и глубокого ленточного внесения в дозе 168 кг  $K_2O$ /га (Yin and Yun, 2004).

Повышенное содержание фосфора и калия в поверхностных слоях почвы при минимальной обработке, по-видимому, является фактором, влияющим на распределение корней кукурузы в почвенном профиле. Баудер с сотр. (Bauder et al., 1985) сравнивали распределение корней кукурузы при различных системах обработки почвы в штате Миннесота в летние месяцы. В верхнем слое почвы (0–7.5 см) более высокие значения общей длины корней в объеме почвы и расчетной общей длины корней наблюдались при нулевой обработке и гребневой вспашке по сравнению с отвальной вспашкой и чизелеванием. Кроме того, большая часть корней располагалась непосредственно под рядом растений, и очень мало корней находилось на расстоянии от 20 до 40 см от него. Наибольшая общая длина корней и их максимальное проникновение вглубь почвенного профиля наблюдалось при гребневой вспашке в отличие от нулевой обработки, чизелевания и отвальной вспашки. При нулевой обработке почвы, напротив, наибольшая общая длина корней в объеме почвы под рядами наблюдалась на минимальной глубине, а наименьшая – ниже по профилю почвы.

Помимо изменений в распределении корней при различных системах обработки почвы, стратификация элементов питания побудила исследователей изучить возможное преимущество стратегии увеличения объема удобряемой почвы в предполагаемой корневой зоне при расположении удобренных полос на разных глубинах. Хотя ленточное внесение калийных удобрений в начале вегетационного периода создает зоны с высокой концентрацией калия в почве, эти зоны могут не определяться при отборе почвенных проб в конце вегетации. Низкие дозы калия, которые обычно вносятся со стартовыми удобрениями, могут оказаться слишком малыми для повышения плодородия почвы в долгосрочной перспективе, если только они не применяются систематически на одних



**Рис. 2.** Содержание калия в почве весной 2008 г. после третьего цикла выращивания кукурузы в рядах в севообороте, включающем кукурузу (полосное рыхление, 76 см) и сою (нулевая обработка, 38 см).

и тех же участках поля в течение длительного времени. При изучении эффективности ленточного внесения NPK удобрений в дозах калия от 12 до 26 кг  $K_2O$ /га на 5 см сбоку и 5 см ниже семян кукурузы в течение 25 лет, только слабо обогащенная калием зона была обнаружена вблизи рядов при чизелевании и дисковании (Duiker and Beegle, 2006). Пробы почвы отбирались с глубины 0–5, 5–10 и 10–15 см по трансектам, перпендикулярным рядам растений. Для двух других исследованных способов обработки почвы (нулевая и отвальная пахота/дискование), при применении стартового удобрения обогащения почвы калием не происходило. При применении фосфорных удобрений, напротив, четкие обогащенные фосфором зоны наблюдались для всех трех способов обработки почвы. Зона с максимальным содержанием P в почве после уборки урожая формировалась там, где проходил ряд кукурузы. В исследованиях, проведенных в штате Айова, зоны, обогащенные калием, были идентифицированы в рядах кукурузы при чизелевании/дисковании и нулевой обработке после ежегодного глубокого ленточного внесения калийных удобрений в течение 4-х лет (Mallarinio and Borges, 2006). Удобрения вносились весной в дозе 78 кг  $K_2O$ /га в год лентами на глубину 13–18 см перед вспашкой. Кукуруза высевалась непосредственно по лентам. Зоны, обогащенные калием, идентифицировались при обоих способах обработки почвы на глубине от 5 до 15 см. Недавно полученные данные по выращиванию кукурузы с применением полосовой обработки перед соей с нулевой обработкой в штате Индиана (рис. 2) показывают, что содержание почвенного калия в рядах кукурузы было выше, чем в междурядьях, независимо от метода внесения удобрения (разбросное или глубокое ленточное внесение). Интересно, что такой же эффект наблюдался, когда удобрение вовсе не вносилось (Yun, 2010).

Растения кукурузы также могут существенно влиять на образование зон повышенного плодородия при ленточном внесении калийных удобрений. На рисунке 3 показан примерный баланс калия при урожайности кукурузы на зерно 12.5 т/га. Для его оценки учиты-



**Рис. 3.** Оценка выноса К с урожаем зерна кукурузы, а также поступление К в почву из соломы и корней кукурузы. Расчет приведен на урожай зерна кукурузы 12,5 т/га.

валось количество калия, внесенного в почву, а также вынесенного с урожаем зерна и возвращенного в почву из соломы и корней. Были приняты следующие допущения: а) вынос калия с урожаем зерна составил 4,8 кг  $K_2O/t$ ; б) общее количество калия, поглощенного надземными органами растений, составило 24,5 кг  $K_2O/t$ ; в) количество калия, поступившее в почву из кукурузной соломы, было равно разнице между общим поглощением калия и его выносом с урожаем зерна. Оценка количества калия, поступившего из корней, основана на данных по составу абсолютно сухого вещества корней, продуцированного одним растением, полученных Амосом и Уолтерсом (Amos and Walters, 2006). Натура зерна была оценена равным 721 г/л при влажности 15,5%. Урожай зерна был пересчитан на абсолютно сухой вес. С учетом индекса урожайности 0,5, показывающего отношение массы зерна к общей надземной биомассе растений, была рассчитана масса абсолютно сухого вещества соломы, которая оказалась равной массе абсолютно сухого вещества зерна. Масса абсолютно сухого вещества соломы также включала массу стержней початков. Для того чтобы вычесть массу абсолютно сухого вещества стержней початков было принято, что они составляют 15% от общей массы абсолютно сухого вещества соломы. После вычитания массы стержней початков была получена масса соломы без стержней початков. Отношение между абсолютно сухой массой корней и соломы без стержней початков, равное 0,16, было затем использовано для оценки общей абсолютно сухой массы корней на гектар. Усреднение значений содержания калия в корнях, приведенных Клаассеном и Барбером (Claassen and Barber, 1977), дало величину, равную 3%. Полученное значение было умножено на общую массу абсолютно сухого вещества корней на гектар и пересчитано на  $K_2O$ . Такая оценка показала, что большая часть (примерно 80%) общего калия, поглощенного надземными органами растений, возвращается в почву из соломы. Количество калия, перераспределенного в почве корнями растений, составило 72% от его количества, вынесенного зерном.

Количество калия, перераспределенного в почве растениями, сравнимо с его количеством, внесенным в почву в исследованиях, упомянутых выше. Поэтому неясно, какая часть от обнаруженного повышенного содержания калия в рядах связана с ленточным внесе-

нием удобрений, а какая – с перераспределением элемента самими растениями кукурузы. Некоторую ясность в этот вопрос внесли результаты исследований, полученные при полосовой обработке почвы в Индиане (Vyn, 2010) и нулевой обработке в Огайо (Yin and Vyn, 2003). Более высокое содержание калия в почве наблюдались в рядах растений по сравнению междурядьями, независимо от того, вносились калийные удобрения или нет. Поэтому основная причина повышенного содержания калия в рядах – перераспределение калия самими растениями, которое, по-видимому, может нивелировать локальное повышение

плодородия калийными удобрениями, внесенными в низких дозах, как было в исследовании, проведенном в Пенсильвании (Duiker and Beegle, 2006).

Технология точного земледелия позволяет контролировать расположение лент при внесении калийных удобрений для создания со временем зон с повышенным плодородием по калию. Поскольку выращиваемая культура сама способна концентрировать большие количества калия в рядах как у поверхности, так и ниже по почвенному профилю, изменение расположения рядов, где ежегодно высевается кукуруза – эффективная стратегия для создания со временем более равномерного содержания почвенного К по полю. Например, можно выращивать кукурузу в рядах, расположенных в междурядьях посевов предыдущего года, а на следующий год высевать ее снова в первоначальные ряды. Основная цель перемещения рядов растений и лент калийных удобрений – увеличить объем удобренной почвы для получения максимальной урожайности зерна в долгосрочной перспективе.

*Д-р Мюррелл – директор Международного института питания растения (МИПР) по северу Центрального района, Программа МИПР по Северной Америке (Уэст-Лафайет, Индиана); e-mail: smurrell@ipni.net.*

*Д-р Вин – профессор агрономии Университета Пердью (Уэст-Лафайет, Индиана); e-mail: tvyn@purdue.*

## Литература

- Amos, B. and D.T. Walters. 2006. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1489-1503.
- Bauder, J.W., G.W. Randall, and R.T. Schuler. 1985. *J. Soil Water Conserv.* 40:382-385.
- Duiker, S.W. and D.B. Beegle. 2006. *Soil Tillage Res.* 88:30-41.
- Claassen, N. and S.A. Barber. 1977. *Agron. J.* 69:860-864.
- Mallarino, A.P. and R. Borges. 2006. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:702-707.
- Moncrief, J.F., P.M. Burford, and J.B. Swan. 1985. *J. Fert. Issues* 2:17-25.
- Robbins, S.G. and R.D. Voss. 1991. *J. Soil Water Conserv.* 46:298-300.
- Vyn, T.J. 2010. *Personal communication.*
- Yin, X. and T.J. Vyn. 2003. *J. Plant Nutrition* 26: 1383-1402.
- Yin, X. and T.J. Vyn. 2004. *Soil Tillage Res.* 75: 151-159.

*Перевод статьи и адаптация – к.б.н. Иванова С.Е., вице-президент IPNI по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку.*