

вания фосфора, превышающей 90% при оценке «балансовым методом». В настоящее время разрабатывается схема опыта и идет поиск спонсоров для дальнейшей разработки концепции о критическом уровне содержания доступного фосфора для разных систем земледелия, типов почв и климатических условий.

Дж. Джонстон – старший научный сотрудник фонда Лоуса, Ротамстедская опытная станция, Великобритания (Lawes Trust, Rothamsted Research, Harpenden, UK. AL5 2JQ). E-mail: johnny.johnston@rothamsted.ac.uk

Д-р Сайер – сотрудник президента Наресуанского университета, Пхитсанулок, Тайланд. E-mail: keiths@nu.ac.th

## Литература

Johnston, A.E. and P.R. Poulton. 1977. Rothamsted Experimental Station Report for 1976, Part 2: 53-85.

Johnston, A.E. 2001. Principles of crop nutrition for sustainable food production. Proceedings 459. York, UK, International Fertilizer Society. 39 pp.

McCullum, R.E. 1991. Agron. J. 83, 77-85.

Syers, J.K., A.E. Johnston, and D. Curtin. 2008. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 18. Rome, Italy.

Перевод статьи и адаптация – к.б.н. Иванова С.Е.

Переводчик выражает благодарность к.б.н. Носову В.В. за ценные советы.

# Как способ внесения может повысить эффективность калийных удобрений

Т.С. Мюррелл

Агрономическая эффективность калийных удобрений – это прибавка урожая на единицу действующего вещества внесенного удобрения. Эффективность внесения однократной высокой дозы калийных удобрений может быть сравнима с эффективностью ежегодного внесения относительно невысоких доз, что позволяет фермерам гибко планировать внесение удобрений в оптимальное время и наиболее подходящим способом. При внесении невысоких доз ленточный способ обычно более эффективен, чем разбросной. При минимальной обработке почвы глубокое ленточное внесение калийных удобрений может быть более эффективным для адекватного питания растений в засушливых условиях.

Фермеры применяют два основных способа внесения удобрений: разбросное и ленточное. При разбросном внесении калийные удобрения равномерно распределяются на поверхности почвы. Удобрение может быть оставлено на поверхности почвы при беспашотной обработке почвы или запахано на глубину нескольких сантиметров. При ленточном внесении удобрение размещается узкими полосами (лентами). Ленты могут располагаться на поверхности почвы или на определенной глубине.

Эффективность каждого метода зависит главным образом от системы земледелия, используемых агротехнических приемов и возделываемых сортов, а также условий окружающей среды. В настоящей статье мы более подробно рассмотрим эффективность калийных удобрений при выращивании кукурузы в севообороте с соей в кукурузном поясе умеренной зоны США. Обработка посевов механизирована, расстояние между рядами растений – 76 см. Кукурузный гибрид обычно высевают в апреле или мае, а убирают урожай в октябре. Обычно наиболее интенсивное поглощение калия растениями из почвы происходит в июне. Средняя норма высева составляет от 74 до 86 тыс. семян/га. Калийное удобрение, как правило, вносят разбросным способом осенью, после уборки сои. Весной следующего года сеют кукурузу. Пахотные земли находятся в различных формах собственности. При этом фермеры часто обрабатывают и собственные участки, находящиеся в частной собственности, и арендуемые.

## Эффективность калийных удобрений

Использование термина «эффективность» часто подразумевает «получение большего при минимальных вложениях». Эффективность можно рассчитать различными способами, однако мы определяем, какую прибавку урожая дает применение калийных удобрений – это называют агрономической эффективностью (АЭ). Ее рассчитывают как отношение прибавки урожая в результате применения калийного удобрения к количеству внесенного удобрения и выражают в кг зерна/кг  $K_2O$ .

Чаще всего эффективность рассчитывают для одного вегетационного сезона, однако это неприменимо в случае разового внесения высокой дозы в запас на несколько лет. Периодическое однократное внесение высоких доз может оказаться таким же эффективным приемом, как и ежегодное применение невысоких доз. Например, в исследованиях Малларино с сотр. (Mallarino et al., 1991), проведенных в штате Айова (США), в севообороте кукуруза-соя сравнивали эффективность однократного внесения высокой дозы калийных удобрений, внесенных разбросным способом, в результате которого к началу исследований в почву было внесено 675 кг  $K_2O$ /га, с ежегодным внесением 54–81 кг  $K_2O$ /га вразброс (табл. 1). Через 10 лет общее количество внесенного калийного удобрения составило 675 кг  $K_2O$ /га в обоих вариантах опыта. Полученные величины АЭ были почти одинаковы: 10.6 и 10.0 кг зерна/кг  $K_2O$  для ежегодного внесения и

**Табл. 1.** Сравнение агрономической эффективности (АЭ) калийного удобрения через 10 лет после начала опыта. Варианты опыта: однократное внесение 675 кг  $K_2O$ /га в начале опыта и ежегодное внесение в дозе 54–81 кг  $K_2O$ /га (Mallarino et al., 1991).

Доза удобрений	Всего внесено К за 10 лет (кг $K_2O$ /га)	Суммарная отзывчивость кукурузы (прибавка урожая)	Суммарная отзывчивость сои (прибавка урожая)	Общая отзывчивость (прибавка урожая)	АЭ (кг зерна / кг $K_2O$ )
54–81 кг $K_2O$ /га в год	675	5207	1922	7129	10.6
675 кг $K_2O$ /га	675	5584	1183	6767	10.0

Примечание: Суммарная прибавка урожая кукурузы и сои была рассчитана за 5 лет возделывания для каждой культуры. Урожайность зерна кукурузы приведена к влажности 15.5%, а урожайность зерна сои – нет.

однократного внесения высокой дозы удобрений соответственно.

Обычно высокую дозу удобрений в запас на несколько лет вносят, если земля находится в частной собственности фермера, цена калийного удобрения сравнительно невысока, и имеются финансовые возможности для одновременной покупки большого количества удобрения. Ежегодное внесение более низких доз удобрений часто используют, если земля арендована, а финансовые возможности ограничены. Однако в этом случае затраты на удобрения в большей степени зависят от колебания цен на удобрения.

### Основные принципы ленточного внесения удобрений

Ленточное внесение калийных удобрений часто используют для получения высокой прибавки урожая при низкой дозе удобрений. Оно имеет два ключевых преимущества перед разбросным внесением: 1) удобрение можно вносить в поверхностный слой почвы рядом с рядами растений, где оно становится доступным для развивающихся корневых систем, и 2) удобрение накапливается в полосе, создавая со временем зоны, обогащенные доступным для растений калием. Зоны с высоким содержанием калия имеют критическое значение в начальный период вегетации, когда корни кукурузы наиболее активно поглощают калий.

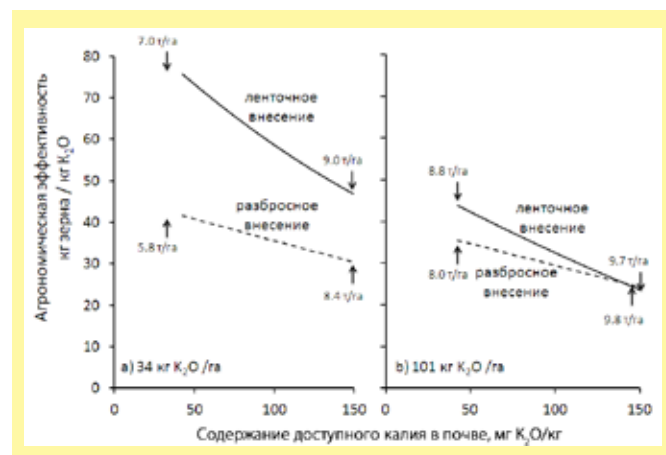
В классическом исследовании по сравнению ленточного и разбросного способов внесения удобрений (Parks and Walker, 1969) более высокие значения АЭ были получены при ленточном внесении удобрений (рис. 1). При более низкой дозе калийного удобрения (34 кг  $K_2O$ /га) были получены более высокие значения АЭ, чем при высокой дозе (101 кг  $K_2O$ /га) (рис. 1а и 1б). Это связано с быстрым ростом урожайности кукурузы при внесении низкой дозы калийного удобрения. При высокой дозе (рис. 1б) значение АЭ было меньше, но общий уровень урожайности был выше. Это важный момент при рассмотрении вопроса об эффективности. Наша цель – добиться оптимальной, а не максимальной эффективности. Поэтому необходимо учитывать достигнутый уровень урожайности, а также некоторые другие параметры функционирования экосистемы.

На рис. 1 можно увидеть и другую важную закономерность. При высоком уровне содержания калия

в почве различия между эффективностью ленточного и разбросного способов внесения удобрений уменьшаются, особенно при внесении высоких доз калийного удобрения. В действительности при внесении высоких доз калийного удобрения эффективность разбросного внесения удобрений должна превышать эффективность ленточного внесения. Почему? Это связано с объемом удобренной почвы.

Недостаток ленточного внесения удобрений - неравномерное распределение элементов питания в почве. Ранее в опытах с молодыми (17-дневными) растениями кукурузы было показано, что для максимального роста необходима доступность калийного удобрения для 50% корней (рис. 2) (Claassen and Barber, 1977). Эти результаты показывают, что при ленточном внесении калийных удобрений расположение лент в почве должно меняться, чтобы со временем увеличить объем удобренной почвы. Многие фермеры сочетают однократное разбросное внесение больших доз калийного удобрения с ленточным внесением. При разбросном внесении удобряется больший объем почвы, тогда как ленточное внесение обеспечивает образование зон с высоким содержанием калия, доступного для корневых систем молодых растений.

При ленточном внесении калийного удобре-



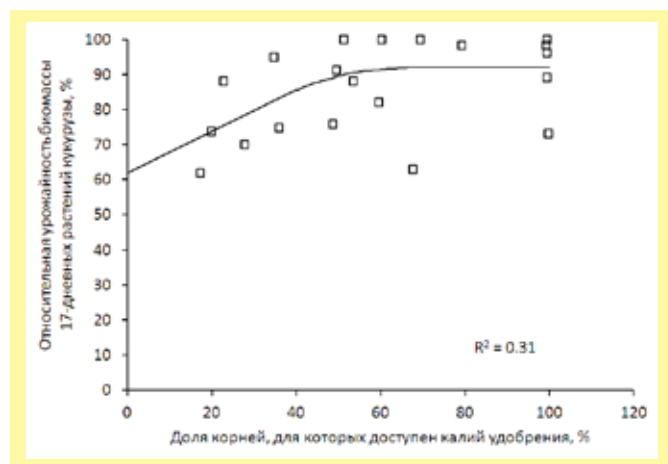
**Рис. 1.** Агрономическая эффективность применения калийного удобрения под кукурузу при ленточном и разбросном внесении в дозах: а) 34 кг  $K_2O$ /га и б) 101 кг  $K_2O$ /га. Отзывчивость кукурузы рассчитывали при помощи модели множественной регрессии. Для каждого способа внесения приведена расчетная урожайность при низком и высоком содержании калия в почве. (Parks and Walker, 1969).

ния следует одновременно вносить фосфорное или азотное удобрение, или оба. Почему? Ответ связан с особенностями роста корней. Когда корни кукурузы растут в зоне с высоким содержанием азота или фосфора, механизмы гормональной обратной связи растения дают команду об активном ветвлении корней. Корни в таких зонах образуют вторичные, третичные и др. ответвления, что приводит к скоплению корней в обогащенной зоне. Не обязательно происходит образование новых корней, скорее большая часть корней располагается в пределах ленты внесения удобрений. Однако внесение только калийных удобрений не приводит к этому результату. Без азотных или фосфорных удобрений корни растений прорастают через ленту внесения калийных удобрений. Из двух элементов питания, вносимых совместно с калием, фосфор не мигрирует далеко и его время нахождения в почве превышает длительность одного сезона, также как и для калия, а ленты азотных удобрений обычно существуют в почве в течение относительно коротких промежутков времени. Таким образом, при совместном ленточном внесении фосфора и калия создается зона обогащения, которую корни растений могут использовать в течение нескольких лет.

### Ленточное внесение удобрений при минимальной обработке почвы для предупреждения возможного негативного влияния засушливых условий

При минимальной или нулевой обработке почвы происходит стратификация доступных для растений форм калия в почве. Поверхностный слой почвы содержит больше доступных форм калия, чем более глубокие слои. Это превышение может быть 2-3-кратным (Karathanasis and Wells, 1990).

Переход с глубокой обработки почвы при вспашке к поверхностному при минимальной обработке влияет не только на распределение доступных форм калия в почве. Способ обработки также определяет, из каких слоев почвы кукуруза берет калий. В 80-х



**Рис. 2.** Биомасса 17-дневных растений кукурузы, % от максимальной биомассы при различных долях объема корней, расположенных в зоне с высоким содержанием калия (Claassen and Barber, 1977).

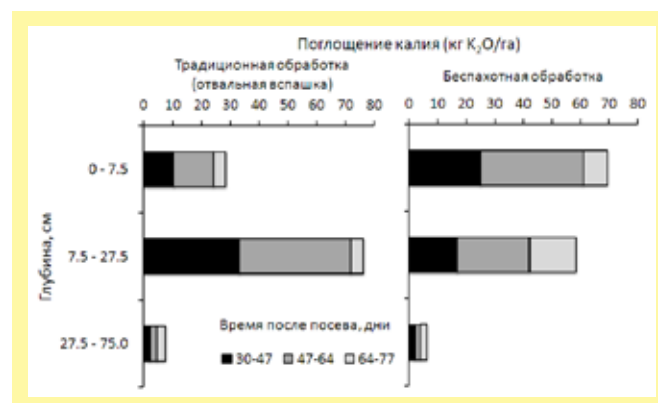
годах 20-го века группа исследователей Университета Пердью сравнила традиционную (отвальную) вспашку с нулевой обработкой почвы (Mackay et al., 1987). Исследователи объединили проведение полевых опытов с использованием механистической модели и получили интересные результаты. Эти результаты, приведенные на **рис. 3**, показывают, что кукуруза, выращиваемая на почве при нулевой обработке, поглощает больше калия из самого верхнего слоя почвы, чем при традиционной обработке. Авторы пришли к следующему заключению:

«Системы с минимальной обработкой почвы могут быть менее устойчивыми к неблагоприятным условиям выращивания в периоды активного поглощения питательных веществ (в кукурузном поясе США - в конце июня и начале июля) из-за увеличения зависимости от содержания калия... в поверхностном слое почвы. Поэтому можно рекомендовать глубокое внесение... калийного удобрения после нескольких лет беспашотной обработки почвы для снабжения... калием корней, растущих в более глубоких слоях почвы, и снижения зависимости растений от содержания питательных элементов в поверхностном слое почвы.»

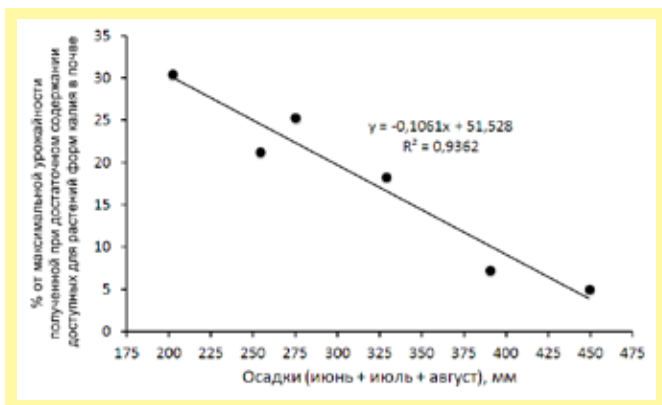
Несколькими годами раньше один из этих исследователей обнаружил, что отзывчивость кукурузы на применение калийного удобрения была выше в засушливые годы (Barber, 1959). На **рис. 4** показано, что урожайность кукурузы в засушливые годы повышалась на 30%, а в более влажные годы отзывчивость кукурузы на калийные удобрения была гораздо ниже.

Все эти данные указывают на возможность более глубокого внесения калийного удобрения в почву для увеличения объема удобренной почвы и обеспечения его доступности растениям и при минимальных обработках почвы, особенно в засушливых условиях. Аналогичные результаты были получены в исследованиях, проведенных почти десять лет спустя.

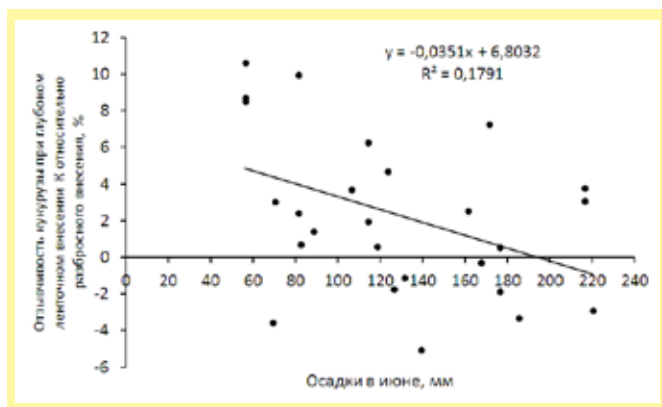
В штате Айова (США) исследователи вносили калийное удобрение лентами на глубину 15–20 см от поверхности почвы (Bordoli and Mallarino, 1998). Ширина лент была около 2.5 см. Кукурузу высевали над этими лентами, так что ряды растений оказывались



**Рис. 3.** Поглощение калия из почвы на глубине 0–7.5, 7.5–27.5 и 27.5–75 см при разных методах обработки почвы (традиционная и беспашотная), измеренное в течение вегетационного сезона в периоды 30–47, 47–64 и 64–77 дней после посева (Mackay et al., 1987).



**Рис. 4.** Отзывчивость кукурузы на зерно на калий при различных уровнях суммы осадков в июне, июле и августе, % от максимальной урожайности, полученной при достаточном содержании доступных для растений форм калия в почве (Barber, 1959).



**Рис. 5.** Отзывчивость кукурузы на зерно при глубоком ленточном внесении калийного удобрения при различных уровнях суммы осадков в июне, % от урожайности кукурузы, полученной при разбросном внесении калийного удобрения. Положительные величины соответствуют большей урожайности при ленточном внесении удобрения (Bordoli and Mallarino, 1998).

точно над лентами. Опыты проводили как в опытных хозяйствах, так и на полях фермеров. На одних участках наблюдали отзывчивость кукурузы, на других – нет. Объединение результатов, полученных на всех исследуемых участках, показало, что глубокое ленточное внесение калийного удобрения увеличивало урожайность кукурузы примерно на 0.2 т/га в опытных хозяйствах и примерно на 0.6 т/га на фермерских полях. Повышение урожайности наблюдалось, даже если пробы почвы, отобранные с глубины 15 см, показывали достаточное или повышенное содержание доступных для растений форм калия.

Авторы отмечали, что обнаруживается корреляция между отзывчивостью кукурузы на калий и погодными условиями, как и предполагали исследователи из Университета Пердью:

«Вероятно, отзывчивость на глубокое ленточное внесение калийного удобрения была связана с погодными условиями, особенно с влажностью почвы... Полученные корреляции дают основание предположить, что прибавка урожая при глубоком ленточном внесении калийного удобрения была выше в годы, когда в июне было мало осадков»

Эти результаты, которые не были графически представлены в исходной публикации, приведены на

**рис. 5.** На рисунке видно, что существует тенденция, хотя и не очень сильная, к повышению урожайности при снижении количества осадков в июне – в период, когда в растениях происходит активное накопление элементов питания.

## Резюме

Для получения максимальной прибавки урожая от внесения калийных удобрений необходимо учитывать систему земледелия, используемые агротехнические приемы и особенности возделываемых сортов, а также условия окружающей среды. Фермеры, выращивающие кукурузу в кукурузном поясе США, используют различные способы для достижения максимальной эффективности от внесения калийных удобрений. Периодическое однократное внесение высоких доз удобрения в запас на несколько лет, по-видимому, так же эффективно, как и ежегодное применение относительно невысоких доз. При низком содержании доступных для растений форм калия в почве внесение невысоких доз лентами более эффективно. Однако при внесении повышенных доз ленточное и разбросное внесение калийных удобрений может быть одинаково эффективно. При минимальной обработке почвы глубоко расположенные ленты калийных удобрений под рядами растений могут способствовать решению проблем питания растений в период активного поглощения элементов питания в засушливых условиях.

*Д-р Мюррелл – директор МИПР по северу Центрального района США, e-mail: smurrell@ipni.net.*

## Литература

- Barber, S.A. 1959. Relation of fertilizer placement to nutrient uptake and crop yield: II. Effects of row potassium, potassium soil-level, and precipitation. *Agron. J.* 51:97-99.
- Bordoli, J.M. and A.P. Mallarino. 1998. Deep and shallow banding of phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *Agron. J.* 90:27-33.
- Claassen, N. and S.A. Barber. 1977. Potassium influx characteristics of corn roots and interaction with N, P, Ca, and Mg influx. *Agron. J.* 69:860-864.
- Karathanasis, A.D. and K.L. Wells. Conservation tillage effects on the potassium status of some Kentucky soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:800-806.
- Mackay, A.D., E.J. Klavivko, S.A. Barber, and D.R. Griffith. 1987. Phosphorus and potassium uptake by corn in conservation tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:970-974.
- Mallarino, A.P., J.R. Webb, and A.M. Blackmer. 1991. Soil test values and grain yields during 14 years of potassium fertilization of corn and soybean. *J. Prod. Agric.* 4:562-566.
- Parks, W.L. and W.M. Walker. 1969. Effect of soil potassium, potassium fertilizer and method of fertilizer placement upon corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 33:427-429.

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