



**IPNI**

МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ  
ИНСТИТУТ

# Эффективность калийных удобрений

2016

## Международный Институт Питания Растений

**Иванова С.Е.**, вице-президент программы по Восточной Европе и Центральной Азии,  
Глава Филиала Международного Института Питания Растений в РФ  
*e-mail: sivanova@ipni.net*

**Носов В.В.**, директор  
программы на Юге и Востоке России  
*e-mail: vnosov@ipni.net*

Бесплатная подписка: [ipni-eeca@ipni.net](mailto:ipni-eeca@ipni.net)

125466 Россия, Москва,  
ул. Ландышева, д. 12, пом. XVIIa  
тел./факс: +7 (495) 580 64 14

сайт: <http://www.ipni.net>  
<http://eeca-ru.ipni.net>  
e-mail: [ipni-eeca@ipni.net](mailto:ipni-eeca@ipni.net)

# Содержание

Индустрия минеральных удобрений: соответствие концепции «4-х правил», <i>Т.Бруулсема</i> .....	2
Как способ внесения может повысить эффективность калийных удобрений, <i>Т.С. Мюррелл</i> .....	5
Калий в земледелии ЦЧО, <i>П.А. Чекмарев, С.В. Лукин, Ю.И. Сискевич, Н.П. Юмашев, В.И. Корчагин, А.Н. Хижняков</i> .....	9
Питание зерновых колосовых культур калием на каштановых почвах, <i>В.Н. Багринцева</i> .....	13
Калийное питание и продуктивность сельскохозяйственных культур на черноземе обыкновенном Западного Предкавказья, <i>С.И. Баршадская, Ф.И. Дерка</i> .....	17
Эффективность применения калийных удобрений в Западной Сибири, <i>В.Н. Якименко, В.В. Носов</i> .....	20
Калийное состояние почв Украины и эффективность калийных удобрений, <i>А.А. Христенко, С.Е. Иванова, Е.Ю. Гладких, Ю.А. Истомина</i> .....	23
Эффективность применения хлористого калия при возделывании сахарной свеклы в условиях Западной Лесостепи Украины, <i>В.М. Полевой, В.Я. Лукашук</i> .....	26
Эффективность применения хлористого калия под картофель, рис и хлопчатник в условиях Казахстана, <i>А. Сапаров, Р. Елешев, Б. Сулейменов, Г. Песковский</i> .....	29
Внешние признаки недостатка калия у кукурузы, <i>Т.С. Мюррелл</i> .....	32
Кому принадлежит доминирующая роль в подавлении стеблевых гнилей кукурузы при применении хлористого калия: калию или хлору, <i>Цз. Цзинь, Кс. Лиу, П. Хэ</i> .....	34
Признаки дефицита калия у кукурузы.....	37
Влияние калийного питания на качество фруктов и овощей: краткий обзор литературы, <i>Дж.Е.Лестер, Дж. Л. Джифон, Д.Дж. Макус</i> .....	38
Как оптимизация калийного питания растений помогает подавить развитие соевой гни, <i>Т. Бруулсема, К. Ди Фонзо, К. Граттон</i> .....	43
Применение и эффективность калийных удобрений в Китае, <i>Ф. Чен, П. Хе, Ш. Ли, Ш. Ту</i> .....	47
Экономические преимущества применения калийных удобрений при выращивании основных зерновых культур на Индо-Гангской равнине, <i>С. Датта, К. Мажумдар, Т. Сатьянараяна</i> .....	50
Использование технологий точного земледелия для управления содержанием калия в почве в прикорневой зоне кукурузы – размышления о будущем, <i>Т.С. Мюррелл, Т.Дж. Вин</i> .....	54
Надо ли применять калийные удобрения?, <i>Т.С.Мюррелл</i> .....	57
Калийные удобрения повышают урожайность картофеля в провинции Юньнань (Китай), <i>М. Йин, Л. Хонг, Ш. Ту</i> .....	59
Первые результаты научного проекта по совершенствованию рекомендаций по внесению калийных удобрений в России, <i>С.Е. Иванова, В.А. Романенков, Л.В. Никитина</i> .....	63
Эффективность применения калийных удобрений в Поволжье, <i>Носов В.В., Исмагилов Р.Р. и Гайфуллин Р.Р.</i> .....	66
Оптимальные дозы и сроки проведения листовых подкормок озимой пшеницы калиевой селитрой, <i>Полтораднев М.С., Гребенникова Т.В. и Гржебиш В.</i> .....	71
Расчет баланса калия по штатам Индии с представлением данных в картографической форме, <i>С. Датта, К. Маджумдар, Г. Сулевски, Т. Сатьянараяна, А. Джонстон</i> .....	74
Результаты научного проекта по совершенствованию рекомендаций по внесению калийных удобрений в России в 2014, <i>С.Е. Иванова, В.А. Романенков, Л.В. Никитина</i> .....	78
Калийное состояние почв Уругвая: текущая ситуация и прогнозы на будущее, <i>М. Барбазан, К. Баутес, Л. Бьюкс, Ж.М. Бордоли, А. Калифра, Ж.Д. Кано, А. дель Пино, О. Эрнст, А. Гарсия, Ф. Гарсия, С. Маззилли и А. Квинке</i> .....	80
Сбалансированное внесение калия под зерновые культуры с помощью «Экспертной программы расчета доз удобрений» (Nutrient Expert®): Повышение урожайности и рентабельности, снижение эмиссии парниковых газов, <i>Сударшан Кумар Датта, Каушик Маджумдар и Т. Сатьянараяна</i> .....	83
Повышение уровня обеспеченности почв калием в Китае при выращивании наиболее рентабельных сельскохозяйственных культур, <i>Пинг Хи, Фэнг Чен, Шутуан Ли, Шихуа Ту, Адриан М. Джонстон</i> .....	88
Признаки дефицита калия у сельскохозяйственных культур.....	92

# Индустрия минеральных удобрений: соответствие концепции «4-х правил»

Т. Бруулсема

Концепция «4-х правил» применения удобрений принята подавляющей частью производителей минеральных удобрений, а также их партнерами в области сельского хозяйства, в правительственных кругах и экологическом движении. Данная концепция освещает основные аспекты ответственного управления питанием растений и предназначена для использования всеми заинтересованными сторонами, осуществляющими как производственную, так и непроизводственную деятельность. Концепция «4-х правил» учитывает условия каждого конкретного региона – система применения удобрений разрабатывается с учетом региональной специфики. Согласно основному положению концепции, для устойчивого ведения сельскохозяйственного производства необходима оптимизация форм, доз, сроков и способов внесения удобрений. Адаптивные подходы к разработке системы применения удобрений должны поддерживаться промышленностью минеральных удобрений на всех уровнях. Слаженная работа всех сегментов, включая производителей минеральных удобрений, оптовиков и ритейлеров, поставщиков услуг в сфере сельского хозяйства, а также инвесторов помогает сельхозпроизводителям принимать правильные решения и, следовательно, повышать эффективность используемых систем земледелия.

Примерно 25 лет назад Международная комиссия ООН по окружающей среде и развитию выпустила доклад «Наше общее будущее». В данном докладе были заложены основы концепции устойчивого развития, в том числе и для сельского хозяйства. В течение последних нескольких лет тема устойчивости стала очень важной для крупных корпораций, включая компании сельскохозяйственного и продовольственного секторов экономики. Для повышения эффективности своей деятельности крупнейшие продовольственные ритейлеры разрабатывают программы, в том числе и по развитию системы поставок вплоть до уровня фермерских хозяйств, включая средства химизации и семена, используемые данными хозяйствами. Эти крупные продовольственные ритейлеры привлекают агробизнес к участию в работе таких организаций, как Консорциум за устойчивое развитие (The Sustainability Consortium) и «Кистоунский» альянс за устойчивое развитие сельского хозяйства (The Keystone Alliance for Sustainable Agriculture).

## Концепция «4-х правил» и устойчивое развитие

Использование концепции «4-х правил» применения удобрений способствует выработке рациональных решений по формам, дозам, срокам и способам внесения удобрений. Например, «Кистоунским» альянсом за устойчивое развитие сельского хозяйства разработан «Полевой экспресс-калькулятор» («Fieldprint Calculator») с компонентой по парниковым газам, которая использует основные элементы концепции «4-х правил». Вполне вероятно, что разрабатываемый в настоящее время «Индекс качества воды» (Water Quality Index) будет также увязан с положениями концепции «4-х правил».

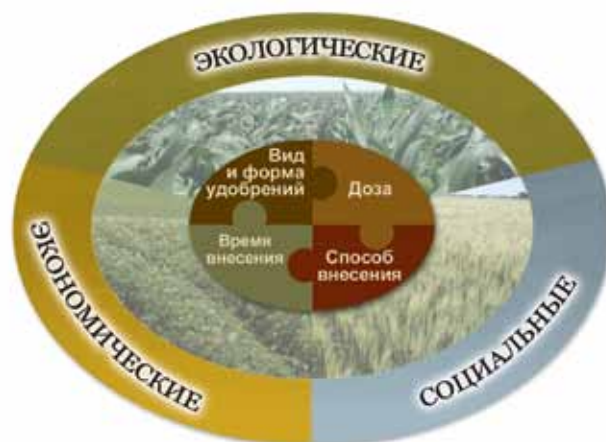
Существует множество определений понятия «устойчивое сельское хозяйство», однако в большинстве из них делается акцент на удовлетворении растущего спроса на продовольствие при отсутствии негативного влияния на состояние природных ресур-

сов. При этом должны приниматься сбалансированные решения с учетом последствий для экономики, социальной сферы и окружающей среды.

Как показано на **рис. 1**, правила применения удобрений, то есть выбор оптимальных форм, доз, сроков и способов их внесения для конкретной системы земледелия, тесно увязаны с целями устойчивого развития сельского хозяйства. Система применения удобрений считается «оптимальной», если она помогает всем заинтересованным сторонам в достижении поставленных задач по эффективности функционирования конкретной системы земледелия, ее продуктивности, влиянию на качество питьевой воды и воздуха и т.д.

## Научные принципы, лежащие в основе концепции «4-х правил»

С развитием таких наук, как физика, химия и биология были разработаны фундаментальные принципы минерального питания растений. Применение



**Рис. 1.** Концепция «4-х правил» применения удобрений подразумевает, что оптимизация форм, доз, сроков и способов внесения удобрений для конкретной экосистемы помогает всем заинтересованным сторонам решать экономические, социальные, а также экологические задачи.

**Таблица 1.** Основные научные принципы, лежащие в основе концепции «4-х правил» применения удобрений (IPNI, 2012).

Форма	Доза	Сроки внесения	Способы внесения
Содержание важнейших элементов питания	Потребность растений в элементах питания	Динамика поглощения элементов питания	Динамика развития корневой системы
Доступные для растений формы удобрений	Доступность элементов питания из почвы	Периоды максимального поглощения элементов питания	Реакция почвенной среды
Физико-химические свойства почвы	Поступление элементов питания из всех возможных источников	Доступность элементов питания из почвы во времени	Система обработки почвы
Синергизм элементов питания	Прогноз эффективности использования элементов питания из удобрений	Динамика потерь элементов питания из почвы	Внесение удобрений с учетом разного почвенного плодородия полей
Совместимость удобрений в тукосяках	Поддержание почвенного плодородия	Логистика полевых работ	Дифференцированное внесение удобрений с учетом внутривидовой пестроты почвенного плодородия
Сопутствующие элементы	Экономика		

полученных знаний на практике способствовало развитию научных принципов регулирования почвенного плодородия и питания растений. Формы, дозы, сроки и способы внесения удобрений – основные компоненты системы управления питанием растений, каждый из которых имеет глубокое научное обоснование, исходя из наших представлений о питании растений. Все это можно изложить в виде ключевых принципов, как сделано в **табл. 1**. Для специалистов, консультирующих сельхозпроизводителей по вопросам питания растений, очень важно понимать научные основы, на которых базируются данные ключевые принципы.

Формы, дозы, сроки и способы внесения – полностью взаимосвязанные элементы в системе применения удобрений. Если один из них определен неправильно, то и систему в целом нельзя считать оптимальной. Вполне возможно, что в каждой конкретной ситуации может быть не одна оптимальная комбинация данных четырех элементов. Однако если один из них меняется, то и остальные также могут меняться. Все «4 правила» должны соблюдаться одновременно и соответствовать применяемой системе земледелия и агротехнологиям возделывания сельскохозяйственных культур. Для повышения устойчивости растениеводства концепция «4-х правил» применения удобрений акцентирует особое внимание на том, как принятые решения влияют на выходные параметры или на эффективность функционирования системы земледелия. Например, когда недостаток калия лимитирует урожайность, применение калийных удобрений повышает эффективность использования азота и фосфора из удобрений.

### Адаптивное управление питанием растений

Процесс адаптивного управления питанием растений состоит из нескольких циклов – принятие решений, их выполнение и оценка результатов (**рис. 2**). Данные циклы прорабатываются на разных уровнях – от хозяйства и региона до государства в целом. Для производителей минеральных удобрений все указанные уровни одинаково важны.

Поставщики услуг в сфере сельского хозяйства, в том числе ритейлеры, часто консультируют сельхозпроизводителей на уровне конкретного хозяйства. Сельхозпроизводители прорабатывают опции для

каждой культуры и следуют тем рекомендациям по формам, дозам, срокам и способам внесения удобрений, которые больше всего соответствуют конкретным условиям. Специфичные для конкретных условий факторы включают не только почвенное плодородие, рельеф, но и вопросы регионального нормативно-правового регулирования и землепользования.

На региональном уровне поставщики минеральных удобрений принимают решения по формам удобрений (видам продукции), которые они будут реализовывать, и прорабатывают логистику поставок, чтобы отгрузить удобрения в конкретное хозяйство или на конкретное поле в наиболее оптимальные сроки. Для проведения полевых опытов на полях фермеров и интерпретации полученных результатов агрономы, ассоциированные с производителями минеральных удобрений, взаимодействуют непосредственно с сельхозпроизводителями и консультантами по растениеводству. Это помогает апробировать разработанные технологии на практике.

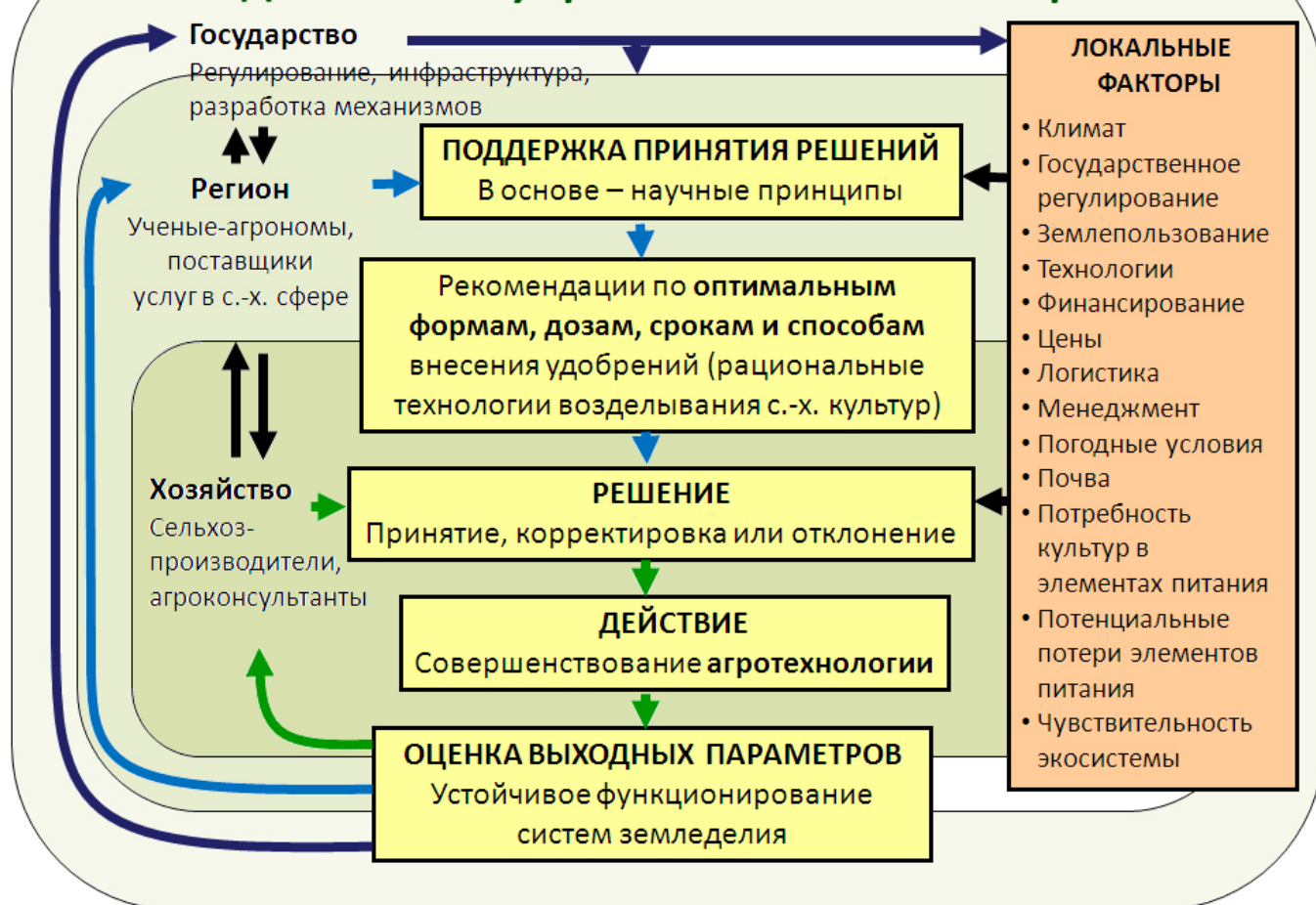
На политическом уровне (отдельное государство или международное сообщество в целом) производители удобрений, инвесторы и правительства принимают решения по разработке конкретных видов продукции и инвестициям в новые производственные мощности и транспортную инфраструктуру. От подобных решений зависит наличие конкретных форм удобрений, а также сроки их внесения сельхозпроизводителями.

Поставленные задачи должны быть согласованы на всех трех вышеуказанных уровнях, поскольку в соответствии с этими задачами оцениваются выходные параметры. Формы, дозы, сроки и способы внесения удобрений важны на всех уровнях, однако необходимо иметь целостное представление о той структуре, которую мы имеем в виду, когда говорим о концепции «4-х правил» применения удобрений или непосредственно о самих правилах.

### Контроль и учет

Системы повышения устойчивости растениеводства и системы сертификации на соответствие критериям устойчивого развития в целом нуждаются в контроле и учете. Для контроля и учета на уровне фермерского хозяйства необходимо наличие плана

## «4П»: адаптивное управление питанием растений



**Рис. 2.** «4 правила» применения удобрений учитываются при адаптивном управлении питанием растений – в циклах непрерывного совершенствования агротехнологий на уровне хозяйства, региона и государства в целом, исходя из локальных факторов, специфичных для конкретных условий.

применения удобрений. В отличие от нормативного плана применения удобрений план, составленный в соответствии с концепцией «4-х правил», базируется на следующих основных принципах:

- 1) сельхозпроизводитель указывает задачи устойчивого развития и показатели эффективности для хозяйства;
- 2) гибкость при осуществлении адаптивного управления питанием растений при условии, что информация о применяемых технологиях подробно документируется для каждого поля и для каждой культуры и сохраняется сельхозпроизводителем для внутреннего использования;
- 3) открытая отчетность по применяемым индикаторам или критериям эффективности, которые отражают экономическую, социальную и экологическую составляющие устойчивого развития.

Это ключевые принципы, формирующие ядро системы управления агротехнологиями в соответствии с международными стандартами отчетности в области устойчивого развития.

### Пример: Система применения фосфорных удобрений на водосборе озера Эри

Фосфор (P) – важнейший элемент питания сельскохозяйственных культур. Однако избыточная концентрация фосфора в ручьях, реках и озерах может привести к бурному развитию водорослей – «цветению» воды. В период с 1995 по 2011 гг. на водосборе озера Эри в штате Огайо и соседних штатах США наблюдалась тенденция роста содержания растворенного фосфора в реках и интенсивности «цветения» воды в озерах. В данной зоне преобладает севооборот кукуруза – соя, и вносимые в почву фосфорные удобрения – это одна из многих возможных причин «цветения» воды.

Согласно результатам исследований, ливневые дожди, выпадающие в течение нескольких дней после внесения фосфорных удобрений взрывчат без заделки в почву, обогащают поверхностный сток растворенным фосфором до уровней, значительно превышающих величины, при которых начинается «цветение» воды. При этом потери фосфора из почвы составляют не более 5-10% от внесенного с удобрениями фосфора. В соответствии с концепцией «4-х правил» для уменьшения потерь фосфора из почвы внесение удобрений в указанном регионе должно проводиться в «оптимальные сроки» и «оптимальным способом». В тех случаях, когда это возможно, рекомендуется внутрипочвенное внесение фосфор-

ных удобрений или внесение вразброс с последующей заделкой в почву. Когда заделка удобрений в почву невозможна, например, при нулевой обработке почвы, сельхозпроизводителям рекомендуется внимательно отслеживать прогнозы погоды и избегать внесения фосфорного удобрения вразброс, если вероятность выпадения сильного дождя в течение ближайших нескольких дней превышает 50%.

Проведение образовательных программ и информирование общественности о том, как использование концепции рационального применения удобрений способствует снижению потерь фосфора из почвы в растворенном виде, осуществляется совместными усилиями в рамках партнёрской группы, охватывающей компании агробизнеса, правительственные агентства и экологические организации. В данную группу входят: организация «Охрана природы», Ассоциация агробизнеса штата Огайо, департаменты сельского хозяйства и природных ресурсов Правительства штата Огайо, Консультационная служба университета штата Огайо, а также ряд ритейлеров в сегменте агробизнеса и сельхозпроизводителей. Ведется постоянная работа по разработке наиболее обоснованных критериев оценки используемых агротехнологий, основанная на научных исследованиях – мониторинге потерь элементов питания на кон-

кретных полях. Информация о программе доступна на интернет-ресурсе «Охрана природы» (The Nature Conservancy). Разработка адаптивных технологий применения удобрений, исходя из концепции «4-х правил», когда одновременно преследуются как экономические, так и экологические цели, обеспечивает постоянный прогресс в области повышения урожайности сельскохозяйственных культур в этом высокопродуктивном регионе, охватывающем водосборный бассейн озера Эри.

*Д-р Бруулсема – Региональный директор Международного института питания растений по Северо-Восточному региону Северной Америки (г. Гуэльф, провинция Онтарио, Канада); e-mail: tom.bruulsema@ipni.net.*

## Литература

IPNI. 2012. *4R Plant Nutrition Manual: A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition, Metric Version*, (T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, G.D. Sulewski, eds.), International Plant Nutrition Institute, Norcross, GA, USA.

*Перевод и адаптация: к.б.н. Носов В.В., региональный директор МИПП по Югу и Востоку России*

# 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.*

**Ф**ермеры 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 посева 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 од-

**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	Суммарная отзывчивость сои ----- (кг зерна/га) -----	Общая отзывчивость	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 отзывчивость кукурузы и сои была рассчитана за 5 лет возделывания каждой культуры. Урожайность зерна кукурузы приведена к влажности 15,5%, а урожайность зерна сои – нет.

ного 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 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 единовременной 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.

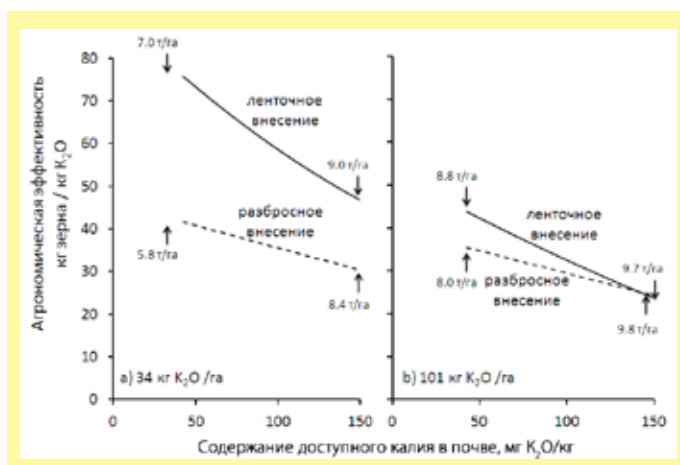
## Основные принципы ленточного внесения удобрений

Ленточное внесение калийных удобрений часто используют для получения высокой прибавки урожая, возможной 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.

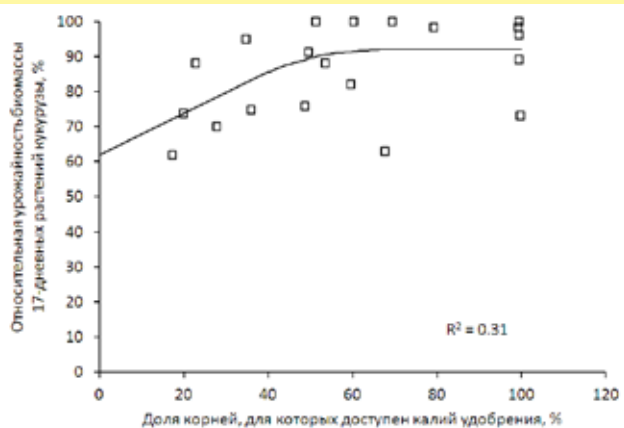
На рис. 1 можно увидеть и другую важную закономерность. При высоком уровне содержания калия в почве различия между эффективностью ленточного и разбросного способов внесения удобрений уменьшаются, особенно при внесении высоких доз калийного удобрения. В действительности при внесении высоких доз калийного 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



**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).





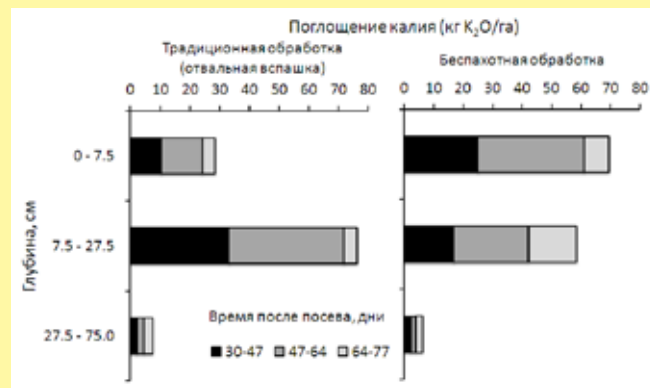
**Рис. 2.** Биомасса 17-дневных растений кукурузы, % от максимальной биомассы при различных долях объема корней, расположенных в зоне с высоким содержанием калия. (Claassen and Barber, 1977).

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 удобрения 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

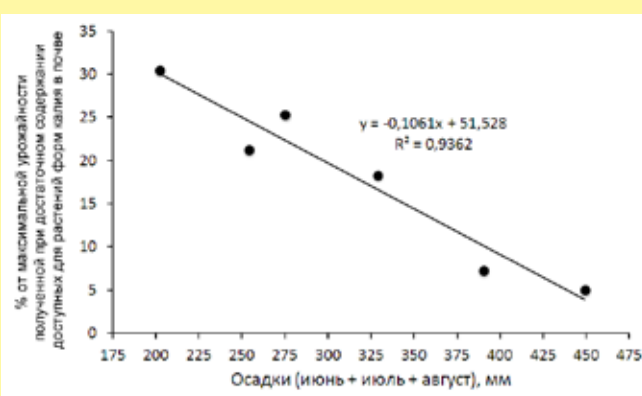
При минимальной или нулевой обработке почвы происходит стратификация калия в почве. Поверхностный слой почвы содержит больше калия, чем более глубокие слои. Это превышение может быть 2-3-кратным (Karathanasis and Wells, 1990).



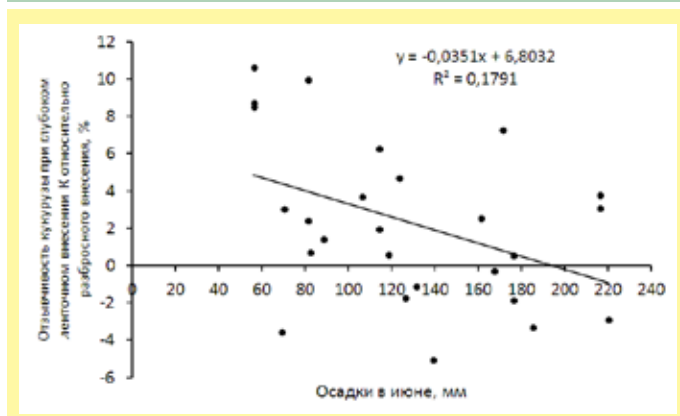
**Рис. 3.** Поглощение калия из почвы на глубине 0–7,5, 7,5–27,5 и 27,5–75 см при разных методах обработки почвы (традиционная и беспашотная), измеренное в течении вегетационного сезона в периоды 30–47, 47–64 и 64–77 дней после посева (Mackay et al., 1987).

Изменение обработки почвы с глубокого воздействия при вспашке до поверхностного при минимальной обработке влияет не только на распределение калия в почве. Она также определяет, из каких слоев почвы кукуруза берет калий. В 80-х 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 пита-



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

тельных 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 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 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 удобрений ленточное и разбросное внесение калийного удобрения могут быть одинаково эффективны. При минимальной обработке почвы глубоко расположенные ленты калийного удобрения 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. Kladvko, 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.

# Калий в земледелии ЦЧО

П.А. Чекмарев, С.В. Лукин, Ю.И. Сискевич, Н.П. Юмашев, В.И. Корчагин, А.Н. Хижняков

**К**алий является одним из основных зольных макроэлементов. Его роль в питании растений более отчетливо проявляется на фоне высокого использования фосфора и азота. Вынос калия с урожаем всегда больше, чем фосфора, а часто и азота. Оптимальное калийное питание повышает крахмалистость и вкусовые качества картофеля, сахаристость корнеплодов сахарной свёклы, накопление жира в семенах масличных культур, улучшает выполненность зерна злаковых культур. При недостатке калия задерживается синтез белка и накапливается небелковый азот. Использование калийных удобрений на почвах (особенно легкого механического состава), загрязненных радионуклидами, снижает транслокацию радиоцезия в растения (Панников, Минеев, 1977).

Значительное истощение почвенного калийного фонда может привести не только к снижению продуктивности выращиваемых культур, но и к утрате экологических и хозяйственных функций почвы.

Основная часть почвенного калия представлена малорастворимыми алюмосиликатными минералами и лишь в процессе их выветривания становится доступной для растений. Целинные чернозёмы ЦЧО содержат 1.6-1.7% валового калия в верхней части гумусово-аккумулятивного горизонта и 1.2-1.4% – в материнской породе (табл. 1). Содержание подвижных форм калия в слое 0-20 см заповедных чернозёмов составляет: 140-160 мг/кг («Казацкая степь») и 101-105 мг/кг («Ямская степь») (Лукин, Соловichenко, 2008; Каштанов, Явтушенко, 1997).

Как правило, чем более тяжёлый механический состав имеют почвы, тем больше в них валового и подвижного калия. Кроме того, почвы тяжёлого механического состава отличаются повышенной фиксацией калия. В чернозёмах, в связи с высокой насыщенностью двухвалентными катионами, обменный калий почти не накапливается. Преобладает необменное поглощение этого элемента (Панников, Минеев, 1977).

На основе обобщения исследований, проведенных в ЦЧР, предложены оптимальные уровни содержания

подвижного калия в пахотных почвах: для оподзоленного чернозёма – 100-140, для выщелоченного – 120-150, для типичного – 140-160, для обыкновенного – 170-180 мг/кг (Акулов, 1992). Для чернозёмов Украины оптимальное содержание подвижного калия для зерновых культур соответствует уровню 120-180 мг/кг, а для пропашных культур – более 180 мг/кг (Медведев, 2002).

Цель данной работы – проанализировать динамику содержания подвижных форм калия в пахотных почвах ЦЧО и объёмы поступления калия с удобрениями.

В работе использованы материалы сплошного агрохимического обследования пахотных почв, проводимого агрохимической службой в Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой и Тамбовской областях. В пробах почвы содержание подвижных форм калия определялось по Чирикову (ГОСТ 26204-91).

В ЦЧО наибольшие площади занимают зональные почвы – чернозёмы. Чернозёмы оподзоленные и выщелоченные в основном находятся в северной и северо-западных частях ЦЧО (Липецкой, Тамбовской и Курской областях). Чернозёмы обыкновенные, южные и остаточнок-карбонатные – в центральной и юго-восточной частях региона (Воронежской и Белгородской областях). Чернозёмы типичные преобладают на остальной территории ЦЧО. Наиболее распространёнными почвами в ЦЧО являются чернозёмы выщелоченные (29.9%) и типичные (26.1%). Серые лесные почвы сформировались в северной части региона и в большей мере распространены в Курской и Тамбовской областях (Соловichenко, 2005).

В Белгородской области средневзвешенное содержание подвижных форм калия за период 1964-1989 гг. увеличилось на 23% (24 мг/кг), что связано с увеличением использования калийных и органических удобрений. В 1984-1989 гг. в области впервые был достигнут положительный хозяйственный баланс калия (интенсивность 116%). По мнению Д.Н. Прянишникова, приемлемая интенсивность баланса калия должна составлять не менее 80% (Прянишников, 1952). В 1990-2009 гг. баланс калия стал резко дефицитным

Таблица 1. Содержание калия в целинных почвах участка «Ямская степь» заповедника «Белогорье»

Почва	Горизонт	Мощность горизонта, см	Глубина отбора проб, см	Валовое содержание $K_2O$ , %	Подвижные формы $K_2O$ , мг/кг
Чернозем выщелоченный мощный тучный	A <sub>1</sub>	7-45	10-20	1.64	105
	AB	46-68	50-60	1.77	77
	B	69-90	70-80	1.86	76
	BC	91-120	100-110	1.47	82
	C	121-165	140-150	1.22	не опр.
Чернозем типичный мощный тучный	A <sub>1</sub>	7-47	10-20	1.72	101
			30-40	1.89	78
	AB <sub>ca</sub>	48-75	55-65	1.88	не опр.
	B <sub>ca</sub>	76-98	80-90	1.63	не опр.
	BC <sub>ca</sub>	99-120	105-115	1.79	не опр.
C <sub>ca</sub>	121-165	150-160	1.40	не опр.	

**Таблица 2.** Распределение пахотных почв ЦЧР по содержанию подвижных форм калия (K<sub>2</sub>O), % от обследованной площади

Циклы	Годы	Содержание подвижного K <sub>2</sub> O, мг/кг						Средневзвешенное значение, мг/кг	Запасы в пахотном слое, кг/га
		очень низкое, <20	низкое, 21-40	среднее, 41-80	повышенное, 81-120	высокое, 121-180	очень высокое, >180		
Белгородская область									
I	1964-1970	1.5	6.5	21.1	35.3	32.8	3.0	105	315
II	1971-1975	0.1	2.1	32.9	44.1	18.4	2.4	97	291
III	1976-1983	0.1	0.4	15.0	43.0	32.5	9.0	120	360
IV	1984-1989	0.1	2.0	12.1	33.2	36.7	15.9	130	390
V	1990-1994	0.3	2.1	16.7	37.5	30.5	12.9	120	360
VI	1995-1999	0.1	1.9	13.5	38.4	34.0	12.1	128	384
VII	2000-2004	0.1	2.0	14.6	42.4	31.9	9.0	121	363
VIII	2005-2009	-	1.4	12.5	39.0	36.1	11.0	127	381
Воронежская область									
I	1964-1970	0.3	2.9	10.0	21.1	37.9	27.8	115	345
II	1972-1979	-	0.9	11.9	42.4	36.1	8.7	120	360
III	1979-1985	0,1	0.3	8.5	40.6	40.6	9.9	119	357
IV	1986-1990	-	0.6	9.4	37.8	44.4	7.8	122	366
V	1991-1995	-	0.6	9.5	30.7	50.8	9.5	133	399
VI	1996-2000	0.1	0.6	8.3	30.7	50.8	9.5	127	381
VII	2001-2005	0.1	0.7	10.7	32.4	46.6	9.5	127	381
VIII	2006-2010	0.1	0.9	11.3	37.0	43.9	6.8	123	369
Курская область									
I	1964-1970	0.6	13.8	48.1	28.6	8.1	0.8	82	246
II	1971-1975	0.2	9.9	53.7	29.5	5.0	1.7	82	246
III	1976-1983	-	9.2	44.8	32.2	10.2	3.6	91	273
IV	1984-1989	-	2.9	30.1	41.1	19.8	6.1	104	312
V	1990-1994	-	0.3	24.3	42.3	24.9	8.2	111	333
VI	1995-1999	0.1	0.9	33.4	37.8	19.7	8.1	104	312
VII	2000-2004	0.1	0.9	40.2	38.4	15.2	5.2	96	288
Липецкая область									
I	1964-1969	0.5	5.5	24	43	22	5	101	303
II	1970-1975	-	1.5	25	51	19	3.5	102	306
III	1976-1981	-	0.3	17	52	25	5.7	110	330
IV	1982-1986	-	1	33	46	15	5	98	294
V	1987-1989	-	3	45	32	13	7	92	276
VI	1990-1993	-	2	38	34	17	9	99	297
VII	1994-1997	-	1	37	37	17	8	99	297
VIII	1998-2002	-	1	34	40	17	8	101	303
XIX	2003-2007	-	1	33	44	17	5	101	303
Тамбовская область									
II	1971-1977	-	1.8	24.4	40.8	23.5	9.5	109	326
III	1978-1984	-	0.6	16.3	49.2	28.4	5.5	112	336
IV	1985-1990	-	0.2	17.5	51.1	27.1	4.1	110	331
V	1991-1995	-	0.5	24.8	49	24	1.7	104	311
VI	1996-2002	-	0.5	27.1	50.5	21.1	0.8	101	302
VII	2003-2009	-	0.6	23.8	52.7	22.8	0.1	102	305

(интенсивность 32-74%), однако средневзвешенное содержание подвижного калия в почвах изменилось не сильно, находясь в пределах 120-128 мг/кг.

В Липецкой области по данным первого цикла агрохимического обследования (1964-1969 гг.) средневзвешенное содержание подвижного калия составляло 101 мг/кг при отрицательном балансе этого элемента (-12 кг/га). Минимальное содержание подвижного

калия (92 мг/кг) зафиксировано в пятом цикле обследования (1987-1989 гг.) при положительном балансе 6 кг/га. В восьмом цикле (1998-2002 гг.) содержание подвижных форм калия увеличилось до 101 мг/кг, несмотря на отрицательный баланс этого элемента (-25 кг/га) (Сискевич, Никонова, 2006).

В почвах Тамбовской области за годы наблюдений содержание подвижных форм калия было достаточ-

но стабильно (101-112 мг/кг), несмотря на различный уровень использования удобрений.

В почвах Курской и Воронежской областей за период 1964-1994 гг. средневзвешенное содержание подвижных форм калия увеличилось соответственно на 35 и 16%, а затем наметилась устойчивая тенденция к уменьшению величины данного показателя (табл. 2).

Динамика поступления калия в почву с органическими и минеральными удобрениями была достаточно сходной во всех областях ЦЧР. С середины шестидесятых до конца восьмидесятых годов прошлого века поступление калия увеличивалось, затем стало снижаться, и в начале текущего столетия достигло минимальных значений. По результатам последних циклов агрохимического обследования зафиксировано увеличение поступления этого элемента в пахотные почвы. Основное количество калия вносилось с минеральными удобрениями, однако в конце девяностых годов прошлого века главным источником поступления калия в агроландшафты стали органические удобрения. Наиболее высокий уровень поступления калия с удобрениями отмечался в Белгородской области, а наиболее низкий – в Тамбовской (табл. 3).

Многими исследованиями установлено, что в процессе сельскохозяйственного использования содержание подвижного калия в почве изменяется незначительно. При низкой обеспеченности почвы усвояемым азотом, что характерно для типичных чернозёмов и тёмно-серых лесных почв, потребность растений в калии удовлетворяется за счет мобилизации его почвенных запасов. Установлено, что при взаимодействии калийных удобрений с почвой в необменной форме фиксируется 70-90% внесенного калия, большая часть которого за 3-4 года выращивания сельскохозяйственных растений используется ими на формирование урожая (Минеев, 1999).

Большое количество органического вещества в условиях недостаточного увлажнения и сравнительно высокой температуры способствует необменному поглощению калия в пахотном горизонте чернозёмов. Поэтому, в большинстве полевых опытов, проведенных в ЦЧО, прямого положительного эффекта от внесения калийных удобрений не отмечалось (Плодородие черноземов России, 1998).

В тоже время в стационарном опыте БелНИИСХ по истечении двух ротаций пятипольного севооборота содержание подвижного калия на вариантах без внесения удобрений уменьшилось на 21-25 мг/кг, по сравнению с исходным уровнем, а на вариантах с внесением удобрений существенно (на 40 мг/кг и более) повысилось, причем на увеличение содержания подвижного калия на 10 мг/кг затрачивалось сравнительно мало калия – 47-70 кг д.в./га (Соловиченко, 2002).

Возможно, что причиной «благополучия» в состоянии калийного фонда чернозёмов является некорректное применение методов анализа. При значениях pH = 3, которые устанавливаются после взаимодействия раствора 0.5 М уксусной кислоты с почвой (по Чирикову), вероятно вовлечение механизмов растворения калийсодержащих минералов почвы, а также процессов гидролиза органического вещества, что искажает картину о реальном количестве доступного калия в почве (Прокошев, Носов, 2002). В модельных опытах установлено, что содержание подвижного калия в по-

**Таблица 3.** Динамика поступления калия в агроландшафты с минеральными и органическими удобрениями, кг K<sub>2</sub>O д.в./га

Циклы	Годы	Минеральные удобрения	Органические удобрения	Всего
Белгородская область				
I	1964-1970	10.0	11.4	21.4
II	1971-1975	16.0	13.8	29.8
III	1976-1983	32.0	21.6	53.6
IV	1984-1989	46.0	34.8	80.8
V	1990-1994	25.0	31.2	56.2
VI	1995-1999	5.3	14.4	19.7
VII	2000-2004	8.9	5.9	14.8
VIII	2005-2009	19.3	5.4	24.7
Воронежская область				
I	1964-1970	11.2	10.9	22.1
II	1972-1979	19.0	12.3	31.3
III	1979-1985	22.6	20.3	42.9
IV	1986-1990	29.6	21.2	50.8
V	1991-1995	10.7	17.8	28.5
VI	1996-2000	1.7	10.5	12.2
VII	2001-2005	6.2	9.2	15.4
VIII	2006-2010	10.2	8.3	18.5
Курская область				
III	1976-1983	29.1	15.9	45.0
IV	1984-1989	45.2	23.7	68.9
V	1990-1994	37.0	18.4	55.4
VI	1995-1999	2.6	5.8	8.4
VII	2000-2004	6.4	3.5	9.9
VIII	2005-2009	18.4	2.2	20.6
Липецкая область				
I	1964-1969	8.4	5.1	13.5
II	1970-1975	15.3	8.6	23.9
III	1976-1981	22.4	13.1	35.5
IV	1982-1986	25.5	20.6	46.1
V	1987-1989	36.4	23.7	60.1
VI	1990-1993	37.3	25.9	63.2
VII	1994-1997	6.1	9.5	15.6
VIII	1998-2002	3.6	4.7	8.3
XIX	2003-2007	11.3	6.4	17.7
Тамбовская область				
II	1971-1977	8.9	6.6	15.5
III	1978-1984	19.6	16.3	35.9
IV	1985-1990	26.3	17.5	43.8
V	1991-1995	2.7	9.5	12.2
VI	1996-2002	0.4	4.9	5.3
VII	2003-2009	6.6	2.6	9.2

чве, определенное по методу Чирикова, слабо коррелирует с дозами (даже высокими) внесения калийных удобрений (Козлова и др., 2003).

Однако достаточно стабильное содержание подвижного калия в почвах при низком уровне химизации не является основанием для отказа от использования калийных удобрений на чернозёмах. Калийные удобрения необходимо, в первую очередь, вносить под культуры, выносящие много калия с урожаем, для

**Таблица 4.** Влияние удобрений на урожайность и технологические качества корнеплодов сахарной свёклы.

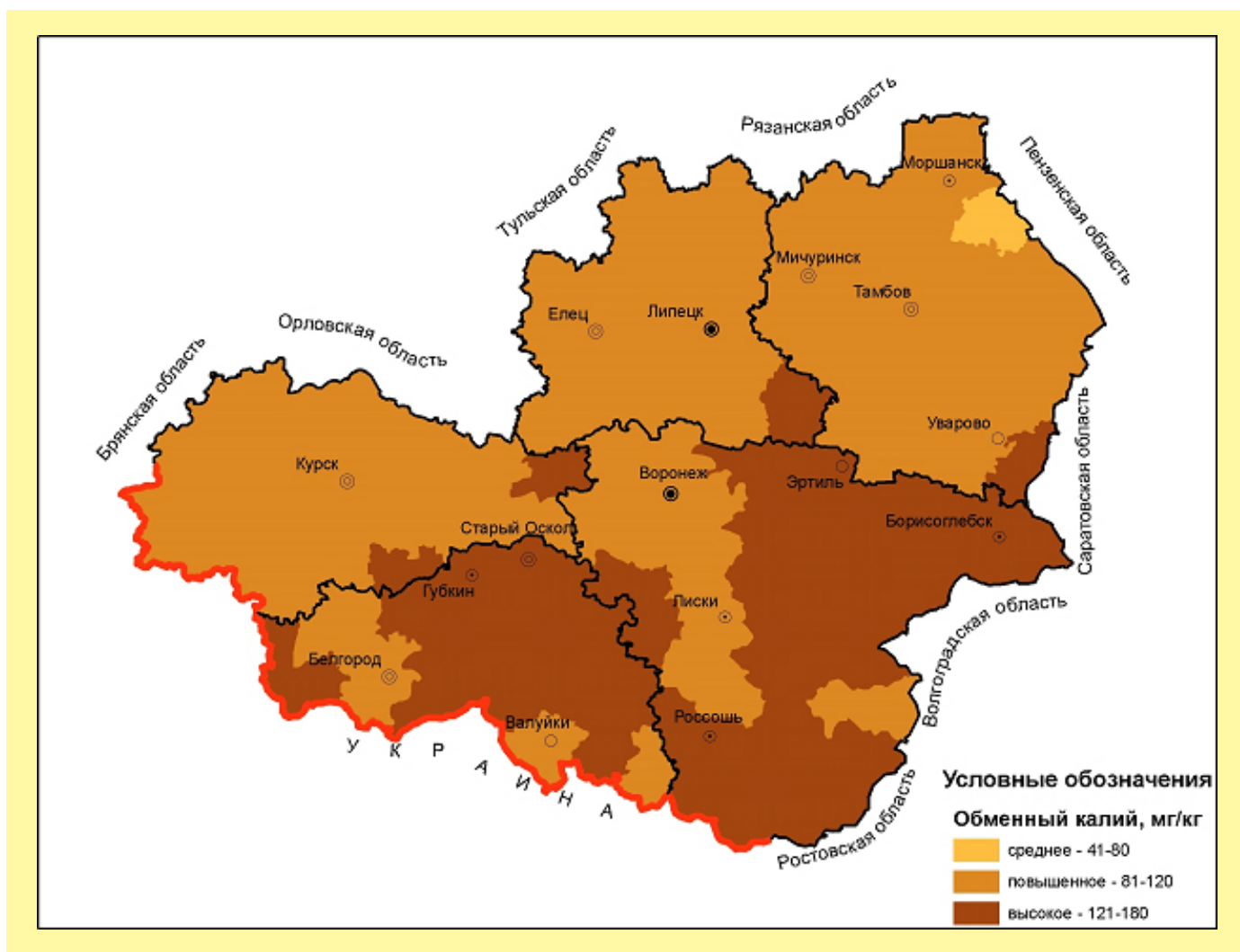
Вариант	Урожайность, т/га	Содержание сахара, %	Потери сахара в мелассе, %	Выход сахара, т/га	Прибавка выхода сахара, %	Окупаемость удобрений прибавкой выхода сахара, кг сахара/кг д.в. удобрений
Контроль	28.2	19.3	2.28	4.53	-	-
N <sub>180</sub>	32.5	17.6	2.29	4.60	1.5	0.39
P <sub>180</sub>	33.7	19.4	2.24	5.14	13.5	3.39
K <sub>180</sub>	30.5	19.4	2.36	4.84	6.8	1.72
N <sub>180</sub> P <sub>180</sub>	39.4	17.9	2.26	5.78	27.6	3.47
N <sub>180</sub> K <sub>180</sub>	35.2	18.2	2.69	5.07	11.9	1.50
P <sub>180</sub> K <sub>180</sub>	37.1	19.6	2.42	6.06	33.8	4.25
N <sub>180</sub> P <sub>180</sub> K <sub>180</sub>	44.0	18.3	2.33	6.59	45.5	3.81

обеспечения сбалансированного минерального питания. Например, только при совместном внесении калийных, фосфорных и азотных удобрений в дозе N<sub>180</sub>P<sub>180</sub>K<sub>180</sub> под сахарную свёклу можно добиться высокого выхода сахара (6,59 т/га) при высокой окупаемости минеральных удобрений (3.81 кг сахара/кг д.в. удобрения) (табл. 4) (Лукин и др., 2010).

В пределах ЦЧО наиболее обеднены подвижным калием западные и северные районы, что связано как с особенностями почвообразующих пород и почвенного покрова отмеченных территорий, так и с многолетним их использованием. По результатам последних завершённых циклов агрохимического обследования наиболее низкое средневзвешенное содержание подвижных форм калия (73.1 мг/кг) зафиксировано в

почвах Пичаевского района Тамбовской области, расположенного на северо-востоке ЦЧО (рис. 1). В этом же районе наиболее высокая доля среднеобеспеченных (41-80 мг/кг) калием почв – 62.3%. В ЦЧР наиболее низкое средневзвешенное содержание подвижных форм калия отмечено в Курской (96 мг/кг), Липецкой (101 мг/кг) и Тамбовской (102 мг/кг) областях. В этих регионах наиболее высокая доля почв среднеобеспеченных калием: в Курской области – 40.2%, в Липецкой – 33.0%, в Тамбовской – 23.8%. Но преобладают в них почвы с повышенным содержанием (81-120 мг/кг) подвижных форм данного элемента.

Наиболее высоким средневзвешенным содержанием подвижного калия характеризуются пахотные почвы Белгородской (127 мг/кг) и Воронежской (123



**Рис. 1.** Картограмма содержания подвижных форм калия в пахотных почвах ЦЧР (2003-2010 гг.)

мг/кг) областей. В Белгородской области высокое содержание подвижных форм калия (121-180 мг/кг) характерно для 36,1%, а очень высокое содержание (более 180 мг/кг) – для 11,0% обследованных почв. В Воронежской области эти показатели составляют 43,9 и 6,8% соответственно. Такие почвы в основном преобладают в степной зоне, расположенной на востоке и юго-востоке этих областей.

Таким образом, материалы агрохимического обследования свидетельствуют о достаточно стабильном содержании подвижных форм калия в пахотных почвах ЦЧО на современном этапе их использования. Тем не менее, для стабилизации калийного режима чернозёмов и обеспечения сбалансированного минерального питания сельскохозяйственных растений необходимо увеличить поступление этого элемента в агроландшафты до уровня, обеспечивающего интенсивность баланса не менее 80%.

*П.А. Чекмарев, член-корреспондент РАСХН, директор департамента растениеводства, Министерство сельского хозяйства РФ*

*С.В. Лукин, доктор сельскохозяйственных наук, ФГУ центр агрохимической службы «Белгородский», e-mail: serg.lukin2010@yandex.ru*

*Ю.И. Сискевич, кандидат географических наук, ФГУ центр агрохимической службы «Липецкий»*

*Н.П. Юмашев, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГУ центр агрохимической службы «Тамбовский»*

*В.И. Корчагин, ФГУ центр агрохимической службы «Воронежский»*

*А.Н. Хижняков, ФГУ станция агрохимической службы «Курская»*

## Литература

- Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай. – М.: Колос, 1977. – 416 с.
- Лукин С.В., Соловиченко В.Д. Результаты мониторинга плодородия почв государственного заповедника «Белогорье» // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – №8 – С. 15-17.
- Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. – М.: Колос, 1997. – 240 с.
- Акулов П.Г. Воспроизводство плодородия и продуктивность чернозёмов. – М.: Колос, 1992. – 223 с.
- Медведев, В.В. Мониторинг почв Украины. – Харьков: ПФ «Антиква», 2002. – 428 с.
- Соловиченко В.Д. Плодородие и рациональное использование почв Белгородской области. – Белгород: «Отчий край», 2005. – 292 с.
- Прянишников Д.Н. Агрохимия. – М.: 1952. – 735 с.
- Сискевич Ю.И., Никонова Г.Н. Мониторинг содержания калия в почвах Липецкой области // Агрохимический вестник. – 2006. – №6. – С. 2-4.
- Минеев, В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 331 с.
- Плодородие чернозёмов России / под ред. Н.З. Милащенко. – М.: Агроконсалт, 1998. – 688 с.
- Прокошев В.В., Носов В.В. Уровень калийного питания – одно из условий устойчивого земледелия в Центральном Черноземье/ Теория и практика использования агрохимических средств в со-временном земледелии Центрально-Черноземных областей Рос-сии. – Белгород: Крестьянское дело, 2002. – С. 120-125.
- Козлова О.Н., Соколова Т.А., Носов В.В., Балдина В.В. О содержании калия в различных вытяжках из черноземов и дерново-подзолистых почв разного гранулометрического и минералогического состава // Агрохимия. – 2003. – №10. – С. 13-21.
- Лукин С.В., Васенев И.И., Цыгуткин А.С. Агроэкологическая оценка многолетней динамики содержания обменного калия в чернозёмах западной части ЦЧО // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – №8. – С. 42-45.

## Питание зерновых колосовых культур калием на каштановых почвах

В.Н. Багринцева

Ставрополье является одним из крупнейших зернопроизводящих регионов России. Особо остро проблема стабилизации урожайности зерновых культур в крае стоит в засушливых районах, где выращивается около 50% производимого в регионе зерна. Почвенно-климатические ресурсы засушливой части Ставрополья при отсутствии крайне неблагоприятных погодных явлений позволяют получать достаточно высокие урожаи зерновых культур. В неблагоприятные годы недостаточное количество осадков, неравномерное их распределение по периодам вегетации зерновых, почвенная засуха и суховеи вызывают снижение урожайности в 2 и более раз. Удобрения являются наиболее действенным способом повышения урожая зерна и улучшения его качества.

Важно отметить, что при оптимальном минеральном питании растений обеспечивается эффективное водопотребление.

В России в целом каштановые почвы занимают 11% пашни – четвертое место после черноземов, серых лесных и дерново-подзолистых почв (Сельское хозяйство России, 2010). В Ставропольском крае зона каштановых почв расположена в северо-восточной и восточной части региона. Каштановые почвы вместе с комплексующимися с ними солонцами и солончаками составляют 46% территории края (Антыков и Стоморов, 1970).

Восточная часть Ставрополья характеризуется наибольшим количеством осадков и неравномерным их распределением в течение года. Так, по данным Буден-

Таблица 1. Содержание разных форм калия в черноземе и каштановых почвах (в слое 0-20 см), мг K <sub>2</sub> O/кг почвы					
Почва	Водорастворимый (по Александрову)	Легкообменный (по Карпинскому)	Подвижный (по Мачигину)	Необменный	
				по Пчелкину	по Гедройцу
Чернозем карбонатный <sup>1</sup>	20	8	214	1260	4750
Каштановая <sup>2</sup>	16	20	277	992	3800
Каштановая <sup>3</sup>	40	60	345	700	3395
Светло-каштановая <sup>3</sup>	80	96	600	863	3254

Примечание: 1 – Шпаковский район; 2 – Буденновский район; 3 – Левокумский район.

новской метеостанции, среднемноголетнее годовое количество осадков в районе ее расположения составляет 354 мм. Несмотря на общую тенденцию к увеличению годового количества осадков, наблюдается цикличность повторения лет с крайне недостаточными условиями увлажнения.

В табл. 1 приведены результаты определения содержания разных форм калия в каштановых почвах в сравнении с черноземом (Багринцева, 1993). В каштановой и светло-каштановой почвах водорастворимого и подвижного калия содержится больше, чем в черноземе. В них также выше степень подвижности калия или содержание так называемого «легкообменного» калия (извлекаемого из почвы раствором хлорида кальция). Например, в светло-каштановой почве по сравнению с черноземом содержание водорастворимого калия больше в 4 раза, легкообменного – в 12 раз, а подвижного – в 2.8 раза. Как известно, обеспеченность подвижным калием возрастает от темно-каштановых к светло-каштановым почвам. В то же время, менее доступных растениям – резервных форм калия в каштановых почвах меньше, чем в черноземе. Так, содержание необменных форм калия в светло-каштановой почве в 1.5 раза меньше, чем в черноземе.

Сравнение разных типов (подтипов) почв по последовательному вытеснению калия раствором карбоната аммония (1:20) показывает, что общее количество вытесненного калия в каштановой почве было в 1.6-1.9 раза больше, чем в черноземной (табл. 2). Однако из каштановой и светло-каштановой почв уже в первую вытяжку переходит 68-76% от всего вытесненного калия, а в черноземе в первом фильтрате обнаруживается значительно меньше калия от его общей суммы. Даже в десятую вытяжку из чернозема переходило 34 мг K<sub>2</sub>O/кг почвы, а из каштановых и светло-каштановой почв весь подвижный калий был вытеснен на 6-ой – 8-ой процедуре. Таким образом, каштановые почвы не могут обеспечить быстрое восполнение подвижных форм калия за счет его

труднодоступных форм по сравнению с черноземом. Поэтому при близком отрицательном балансе калия его запасы в доступных формах в каштановых почвах могут уменьшаться быстрее, чем в черноземах (Черкасова, 1991).

Длительное время считалось, что на каштановых почвах озимая пшеница не испытывает потребности в дополнительном внесении калия с удобрениями ввиду того, что каштановые почвы имеют более высокое содержание подвижного калия по сравнению с черноземами (Челядинов и Стоморев, 1964). Поэтому изучению влияния калийных удобрений на рост, развитие, устойчивость озимой пшеницы к болезням, засухе, неблагоприятным условиям перезимовки, на величину и качество урожая в целом уделялось недостаточно внимания. В результате к тому моменту, когда наметилась тенденция к ухудшению калийного режима каштановых почв, экспериментальных данных по эффективности калийных удобрений не оказалось. Тем не менее, снижение содержания подвижного калия в каштановых почвах, уменьшение площади пашни с повышенной и высокой обеспеченностью этой формой калия и увеличение площади пашни со средней и низкой обеспеченностью заставили рекомендовать внесение калийных удобрений под озимую пшеницу для компенсации выноса этого элемента урожаем (Карандашов и Подколзин, 1987). Однако не подтвержденные экспериментальными данными о том, дают ли калийные удобрения какой-либо эффект, кроме поддержания запасов калия в почве на определенном уровне, эти предложения не нашли в то время поддержки у агрономов хозяйств.

На рис. 1 показано применение калийных удобрений и динамика содержания подвижного калия (по методу Мачигина) в каштановых почвах по данным нескольких туров агрохимического обследования (Подколзин, 2008). Внесение калия в рассматриваемой почвенно-климатической зоне имело место с 80-х и только до середины 90-х годов прошлого века.

Таблица 2. Результаты последовательного вытеснения калия из чернозема карбонатного и каштановых почв 1%-м раствором карбоната аммония

Почва	Содержание К в фильтратах, мг K <sub>2</sub> O/кг почвы											1-й фильтрат в % от суммы
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Сумма	
Чернозем карбонатный	235	126	65	75	63	49	34	32	34	34	747	31
Каштановая	266	32	28	21	17	10	8	8	0	0	390	68
Каштановая	345	44	32	16	8	8	0	0	0	0	453	76
Светло-каштановая	606	98	49	28	12	8	0	0	0	0	801	76





**Рис. 1.** Применение калийных удобрений и средневзвешенное содержание подвижных форм калия для зоны светло-каштановых, каштановых и темно-каштановых почв Ставрополья

По усредненным данным, при внесении калийных удобрений под пшеницу после чистого пара каждые 3 кг K<sub>2</sub>O/га повышают содержание подвижного калия в каштановых почвах на 1 мг K<sub>2</sub>O/кг почвы. В последние годы калийные удобрения практически не применяются на каштановых почвах, и земледелие здесь ведется при отрицательном балансе калия, что уже негативно отразилось на содержании подвижного калия в почве. На основе результатов, полученных с помощью стандартного метода агрохимического обследования почв, можно сделать вывод о том, что плодородие почв по калию практически вернулось к исходному уровню 60-х годов, т.е. когда начинали активно применять калийные удобрения.

Опыты, проведенные лабораторией агрохимии Прикумского филиала (Прикумская опытно-селекционная станция) Ставропольского НИИСХ на каштановой почве с содержанием подвижного калия по Мачигину 250-300 мг K<sub>2</sub>O/кг почвы (а это повышенный уровень), показали, что при правильном применении калийные удобрения дают существенные прибавки урожая и высокое качество зерна (Багринцева, 1996). Это, пожалуй, единственные фундаментальные исследования по питанию зерновых колосовых культур калием в данной почвенно-климатической зоне Ставрополья, результаты которых очень актуальны, особенно с учетом того, что плодородие почв по калию в последнее время стало снижаться. Основные опыты проводились для следующего севооборота: чистый пар – озимая пшеница – озимая пшеница – чистый пар – озимая пшеница – озимый ячмень. При этом фосфорные удобрения вносились только под первую озимую пшеницу по-

**Таблица 3.** Накопление абсолютно сухого вещества зерновыми культурами в севообороте, т/га (в среднем за 3 года)

Вариант опыта	Фаза развития		
	Кущение	Колошение	Созревание
<i>1-я озимая пшеница (после чистого пара)</i>			
N <sub>60</sub> P <sub>120</sub>	3.32	9.02	13.65
N <sub>60</sub> P <sub>120</sub> K <sub>60</sub>	3.70	9.45	14.13
<i>2-я озимая пшеница</i>			
N <sub>60</sub>	1.77	6.50	7.87
N <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	2.43	7.45	8.67
<i>Озимый ячмень</i>			
N <sub>60</sub>	1.77	4.13	5.01
N <sub>60</sub> K <sub>30</sub>	1.92	4.97	6.35

сле пара, т.е. 2 раза за севооборот. Следует отметить, что повторные посевы озимой пшеницы все-таки достаточно часто практикуются в хозяйствах в настоящее время.

Согласно полученным в опытах данным, у озимой пшеницы и озимого ячменя при удобрении калием наблюдалось увеличение вегетативной массы и массы сухого вещества (табл. 3). Влияние калийного удобрения четко проявлялось во все фазы развития озимой пшеницы. Относительные прибавки урожая сухого вещества за счет калийных удобрений у второй пшеницы после пара были выше, чем у первой, и это, вероятно, связано с тем, что вторая пшеница после пара хуже обеспечена калием. Так, максимум накопления сухого вещества у второй пшеницы обеспечивало внесение калия в дозе 60 кг K<sub>2</sub>O/га, за счет которой прирост в фазе кущения составил 37%, в фазе колошения – 15%, и в фазе созревания – 10%.

Положительное влияние калия на формирование биомассы в посевах озимого ячменя также четко проявлялось в течение всей вегетации данной культуры (табл. 3), причем в разные по погодным условиям годы. В результате внесения только 30 кг K<sub>2</sub>O/га прирост сухого вещества в посевах ячменя в фазу созревания составил 27%.

В данном опыте применение калийных удобрений положительно повлияло на структуру урожая озимой пшеницы – у первой культуры после пара повышалась общая и продуктивная кустистость, а, следовательно, количество стеблей и колосьев на 1 м<sup>2</sup> (табл. 4). Под влиянием внесенного калия несколько увеличивалась также масса соломы, колосьев и зерна с 1 м<sup>2</sup>. В результате применения калийных удобрений особенно улучшались показатели продуктивности у озимой

**Таблица 4.** Структура урожая озимой пшеницы при внесении калийных удобрений (в среднем за 3 года)

Вариант опыта	Число, шт./м <sup>2</sup>			Кустистость		Масса, г/м <sup>2</sup>		
	Растений	Стеблей	Колосьев	Общая	Продуктивная	Соломы	Колосьев	Зерна
<i>1-я озимая пшеница (после чистого пара)</i>								
N <sub>60</sub> P <sub>120</sub>	263	607	541	2.3	2.1	1013	557	400
N <sub>60</sub> P <sub>120</sub> K <sub>60</sub>	259	627	580	2.4	2.2	1043	579	411
<i>2-я озимая пшеница</i>								
N <sub>60</sub>	199	408	389	2.1	2.9	484	427	321
N <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	228	493	448	2.2	2.0	612	488	367

Таблица 5. Влияние калийных удобрений на урожай зерна зерновых культур в севообороте (в среднем за 3 года)				
Вариант опыта	Урожай зерна, т/га	Прибавка		Окупаемость 1 кг $K_2O$ прибавкой урожая, кг/кг
		ц/га	%	
<i>1-я озимая пшеница (после чистого пара)</i>				
$N_{60}P_{120}$	4.23	-	-	-
$N_{60}P_{120}K_{60}$	4.49	0.26	6	4.3
<i>2-я озимая пшеница</i>				
$N_{60}$	2.93	-	-	-
$N_{60}K_{60}$	3.28	0.35	12	5.8
<i>Озимый ячмень</i>				
$N_{60}$	2.58	-	-	-
$N_{60}K_{30}$	2.93	0.35	14	11.7

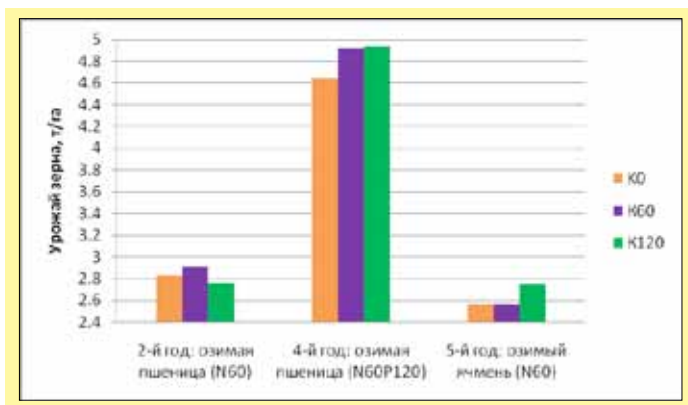


Рис. 2. Годы последствия калийных удобрений, внесенных в дозах 0, 60 и 120 кг  $K_2O$ /га под 1-ю озимую пшеницу после чистого пара (на фоне  $N_{60}P_{120}$ ), на урожайность последующих культур севооборота

пшеницы, выращиваемой второй после чистого пара. При внесении калия число растений повысилось на 15%, стеблей – на 21%, и колосьев – на 15%. На варианте с полным минеральным питанием, где на фоне последствий фосфорных удобрений вносили азотные и калийные удобрения по 60 кг д.в./га, масса соломы выросла на 26%, колосьев – на 14% и зерна – тоже на 14 %.

Как следует из табл. 5, урожай зерна первой озимой пшеницы после чистого пара повысился на 0.26 т/га (или на 6%) за счет применения калийных удобрений в дозе 60 кг  $K_2O$ /га. На озимой пшенице, выращиваемой повторно, калий в той же дозе дал прибавку урожая зерна, равную 0.35 т/га (или 12%). Калийные удобрения давали более высокие относительные прибавки урожая у озимого ячменя – на 14%. С учетом такой хорошей отдачи от внесения небольшой дозы калия под ячмень агрономическая эффективность калийных удобрений (окупаемость 1 кг  $K_2O$  прибавкой урожая зерна) в данном случае была максимальной и составила 11.7 кг/кг. Согласно оценкам, в условиях 2011 г. порог условной окупаемости хлористого калия насыпью на озимой пшенице и ячмене (без учета затрат на доставку удобрений в хозяйство, их внесение в почву, а также уборку и доработку прибавки урожая) составил около 1.5 кг зерна на 1 кг  $K_2O$ . Проведенные наблюдения за последствием калийных удобрений показали, что они оказывают положительное влияние на урожайность зерновых культур не только в год внесения (рис. 2). Калийные удобрения, внесенные под первую озимую пшеницу после пара, несколько повышали урожай пшеницы, выращиваемой повторно. Проявлялось последствие калия на озимой пшенице и через четыре года после его внесения. За счет после-

действия калийных удобрений повышался и урожай озимого ячменя – через пять лет после внесения максимальной дозы калия (120 кг  $K_2O$ /га). Следовательно, при планировании системы удобрения в севооборотах стоит учитывать использование остаточного калия удобрений зерновыми культурами. В тоже время, чтобы не было миграции и накопления калия удобрений в профиле каштановых почв, доза вносимых калийных удобрений не должна превышать 60 кг  $K_2O$ /га, поскольку калий удобрений слабо фиксируется в верхних горизонтах каштановой почвы.

Калию принадлежит важная роль в формировании высококачественного зерна у озимой пшеницы на каштановых почвах (табл. 6). На первой пшенице после пара положительное влияние калия на полновесность зерна сильнее всего проявилось в год, когда наблюдалась почвенная и атмосферная засуха во время колошения и налива зерна. Внесение под пшеницу хлористого калия в дозе 60 кг  $K_2O$ /га повысило массу 1000 зерен – с 28.6 до 31.1 г, содержание клейковины – с 20.5 до 21.5% (а показания ИДК – с 36 до 46 ед.). Такие изменения качества озимой пшеницы под влиянием калийного удобрения доказывают положительную роль калия в улучшении использования растениями азота, накопленного в чистом пару.

При применении калия в составе полного минерального удобрения особенно существенно улучшается качество зерна второй озимой пшеницы после чистого пара (табл. 6). В повторном посеве озимая пшеница при внесении в почву только азота и фосфора (последствие фосфора) дает зерно с очень низкими показателями качества. Калийное же удобрение повышает стекловидность зерна и содержание в нем клейковины. Особенно значительно (на 6% – с 19.1% до 25.1%) содержание клейковины в зерне повысилось в год, который характеризовался достаточным увлажнением во время колошения и налива зерна. По содержанию клейковины зерно второй озимой пшеницы после чистого пара соответствовало ценному только при сбалансированном применении минеральных удобрений.

Таким образом, применение калийных удобрений позволяет получать существенные прибавки урожая зерна и улучшать его качество на каштановых почвах.

Таблица 6. Влияние калийных удобрений на качество зерна озимой пшеницы (в среднем за 3 года)			
Вариант опыта	Натура, г/л	Стекловидность, %	Клейковина, %
<i>1-я озимая пшеница (после чистого пара)</i>			
$N_{60}P_{120}$	764	38	22.8
+ $K_{60}$	767	43	24.9
<i>2-я озимая пшеница</i>			
$N_{60}$	761	33	17.9
+ $K_{60}$	763	40	21.1

При этом для второй озимой пшеницы после пара калий более важен по сравнению с предшествующей первой пшеницей. Следует отметить, что даже при повышенном классе обеспеченности каштановых почв подвижным калием, определенным с помощью стандартного метода почвенного анализа, не гарантируется, что растения будут адекватно обеспечены калием и сформируют максимально возможный урожай. Возможно, что градации по обеспеченности каштановых почв подвижным калием нуждаются в пересмотре в сторону увеличения.

Багринцева В.Н. – заведующая отделом технологии возделывания кукурузы ВНИИ кукурузы (г. Пятигорск), доктор сельскохозяйственных наук; e-mail: 75.61.795@rambler.ru.

## Литература

Антыков А.Я. и Стоморев А.Я. 1970. Почвы Ставропольского края и их плодородие. Став-рополь: Кн. изд-во. 413 с.

Сельское хозяйство России. 2010. Министерство сельского хозяйства РФ. Москва. 54 с.

Багринцева В.Н. 1993. Применение калийных удобрений под озимую пшеницу (рекомендации для Левокумского района Ставропольского края). Буденновск. 29 с.

Черкасова Л.П. 1991. Состояние калийного режима почвы и его изменение при систематическом использовании удобрений в севооборотах: Автореф. дис. ... канд. с.-х. н. Москва. 24 с.

Челядинов Г.И. и Стоморев А.Я. 1964. Ставропольский край. В кн.: Агрохимическая характеристика почв СССР (под ред. Соколова А.В.). М.: Наука. С. 144-174.

Карандашов Л.Г. и Подколзин А.И. 1987. Химизация сельского хозяйства на Ставрополье. Ставрополь. 69 с.

Подколзин А.И. 2008. Эволюция, воспроизводство плодородия почв и оптимизация применения удобрений в агроландшафтах Центрального Предкавказья: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Москва. 45 с.

Багринцева В.Н. 1996. Оптимизация возделывания зерновых культур в севооборотах Восточного Предкавказья: Дис. ... д-ра с.-х. наук. Ставрополь.

# Калийное питание и продуктивность сельскохозяйственных культур на черноземе обыкновенном Западного Предкавказья

Баршадская С.И., Дерка Ф.И.

**К**орневое питание растений зависит от ботанической принадлежности культур, погодных условий, интенсивности развития корневой системы, водно-физических и физико-химических свойств почвы, содержания, соотношения и доступности элементов питания.

Значение калия в питании растений показано во многих работах (Кулаковская, 1990; Минеев, 1999; Прокошев и Дерюгин, 2000). Калий принадлежит к числу важнейших биофильных элементов, необходимых для жизнедеятельности растений. Больше его количество сосредоточено в молодых органах и тканях, где происходит деление клеток, что свидетельствует об участии этого элемента питания в ростовых процессах (Полевой, 1989). Недостаточная обеспеченность растений калием, особенно на ранних стадиях развития, тормозит деление клеток и накопление вегетативной массы (Агеев и Подколзин, 2006; Баршадская, 2010). Высокая подвижность калия в растениях обуславливает его реутилизацию (повторное использование) – передвижение из старых листьев в молодые (Ониани, 1981), что важно для продолжительности жизни растений. Данный элемент способствует увеличению площади листьев, участвует в процессе фотосинтеза. Не принимая непосредственного участия в синтезе белков, калий ускоряет реакции, связанные с их образованием. При недостатке калия аммиачный азот не включается в метаболизм, что приводит к снижению содержания аминокислот в растениях (Шеуджен, 2003; Блэк, 1973; Кук, 1970).

Критический этап в питании растений калием приходится на ранний период их развития, а макси-

мальное накопление – на период интенсивного роста и образования вегетативной массы. Например, для сахарной свеклы обеспеченность растений калием особенно важна в период интенсивного сахаронакопления (Корниенко и др., 2011).

Опосредованно, через активизацию хлорофилла, калий участвует в энергетическом и углеводном обмене и перемещении углеводов из органов образования в органы накопления (репродуктивные органы и корнеплоды). Данному элементу питания присуща функция повышения зимостойкости и морозостойкости озимых колосовых культур, холодостойкости яровых культур (Малюга, 1992). Калий участвует в поглощении растениями воды и ее транспорте. Увеличивая гидрофильность коллоидов протоплазмы, он способствует поддержанию растительного организма в физиологически активном состоянии. При достаточном калийном питании растения становятся более устойчивыми к засухе, что особенно важно в условиях недостаточного увлажнения северной зоны Краснодарского края. Недостаточная обеспеченность растений калием затягивает развитие культур и их созревание. При оптимальном питании калием изменяется анатомическое строение растений, например, у злаков увеличивается толщина стенок соломины, что делает ее более устойчивой к полеганию. Кроме того, повышается устойчивость сельскохозяйственных культур к болезням и вредителям, увеличивается лежкость корнеплодов сахарной свеклы.

На Северокубанской сельскохозяйственной опытной станции Краснодарского НИИСХ в 1979-2008 гг. проводились экспериментальные исследования в аг-

**Таблица 1.** Дозы удобрений, вносимые под культуры севооборота, кг д.в./га

Вариант опыта	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Сахарная свекла	Озимая пшеница	Кукуруза	Горох	Озимая пшеница	Подсолнечник	Яровой ячмень	Кукуруза
Контроль	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NPK + навоз	60-60-60	60-60-60 + 60 т/га навоза	60-80-60	40-60-60	60 т/га навоза	25-30-30	20-40-0	40-60-0	40-60-40	40-60-40
NPK	60-60-60	60-60-60	60-80-60	40-60-60	-	25-30-30	20-40-0	40-60-0	40-60-40	40-60-40
NP	60-60-0	60-60-0	60-80-0	40-60-0	-	25-30-0	20-40-0	40-60-0	40-60-0	40-60-0
NK	60-0-60	60-0-60	60-0-60	40-0-60	-	25-0-30	20-0-0	40-0-0	40-0-40	40-0-40
PK	0-60-60	0-60-60	0-80-60	0-60-60	-	0-30-30	0-40-0	0-60-0	0-60-40	0-60-40

роценозе десятипольного зернопропашного севооборота: озимая пшеница – озимая пшеница – сахарная свекла – озимая пшеница – кукуруза – озимая пшеница (горох в 3-ей ротации) – озимая пшеница – подсолнечник – яровой ячмень – кукуруза. Среднегодовое количество осадков за время исследований составило 569 мм с варьированием от 399 до 861 мм.

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый. На период закладки стационарного опыта (1978 г.) почва имела следующие агрохимические показатели (слой 0-30 см): содержание гумуса – 3.9%, подвижного фосфора и калия (по Мачигину) – 12.9 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/кг почвы и 380 мг K<sub>2</sub>O/кг поч.-вы. Дозы удобрений под отдельные культуры севооборота представлены в **табл. 1**. В звене севооборота сахарная свекла – озимая пшеница – кукуруза под кукурузу минеральные удобрения не вносились (вносился навоз в дозе 60 т/га), а в звене горох – озимая пшеница – подсолнечник калийные удобрения вносили только под горох. Средние дозы минеральных и органических удобрений на гектар севооборотной площади за три ротации севооборота составили: N – 45 кг/га, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 53 кг/га, K<sub>2</sub>O – 36 кг/га и навоз – 12 т/га.

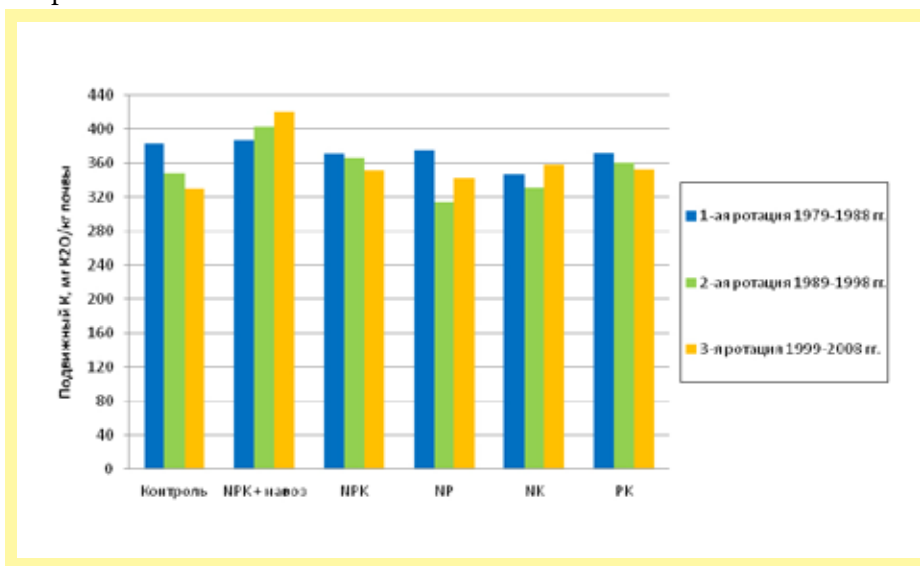
Тридцатилетние наблюдения за динамикой содержания обменного калия в пахотном слое почвы по ротациям севооборота (**рис. 1**) свидетельствуют о том, что наибольшие потери в содержании подвижного калия в почве (на 52 мг K<sub>2</sub>O/кг почвы или на 14%) произошли в неудобряемом контрольном варианте опыта. Интересно отметить, что при использовании только азотно-фосфорных удобрений содержание подвижного калия очень резко упало во 2-ой ротации (на 61 мг K<sub>2</sub>O/кг почвы или на 16%). За исключением варианта с внесением минеральных удобрений на фоне навоза, заметное снижение содержания подвижного калия (на 2-9%) во 2-ой ротации наблюдалось и в остальных вариантах опыта. Это объясняется тем, что данная ротация (1989-1998 гг.) совпала со среднесухим циклом увлажнения, что способствовало фиксации почвой ионов калия. Увеличение содержания подвижного калия в 3-ей ротации (1999-2008 гг.) в варианте без внесения калийных удобрений (на 28 мг K<sub>2</sub>O/кг почвы или на 9%),

по-видимому, связано с обратным процессом, т.е. с высвобождением калия из необменной формы.

Все вышеуказанные изменения происходили в границах класса высокой обеспеченности почвы подвижным калием (301-400 мг/кг почвы). При органо-минеральной системе применения удобрений более высокие дозы внесения элементов питания в почву, включая калий, привели к накоплению подвижного калия в почве, и переходу почвы в категорию очень высоко обеспеченной подвижным калием.

Учет урожайности сельскохозяйственных культур за три ротации зернопропашного севооборота показал (**табл. 2**), что максимальная продуктивность достигалась при внесении минеральных удобрений на фоне последствий навоза. На втором месте по достигнутому уровню урожайности практически для всех культур севооборота был вариант с применением полного минерального удобрения без навоза.

При достигнутом в опыте уровне продуктивности сельскохозяйственных культур применение калийных удобрений в среднем за три ротации севооборота повышало урожай зерна озимой пшеницы на 0.18 т/га, гороха – на 0.10 т/га, а ярового ячменя – на 0.17 т/га. В процентном выражении прибавка урожайности всех трех указанных культур была равной и составила только 4%. Прибавка урожая зерна кукурузы и корнеплодов сахарной свеклы в результате внесения калийных удобрений была гораздо существеннее и в среднем за период наблюдений составила соответственно 0.63 т/га (13%) и 3.6 т/га (9%).



**Рис. 1.** Динамика содержания подвижного калия в слое почвы 0-30 см в разных вариантах опыта по ротациям севооборота (в среднем за ротацию).

**Таблица 2.** Урожайность культур севооборота в среднем за 3 ротации.

Вариант опыта	Озимая пшеница		Горох		Яровой ячмень		Кукуруза		Подсолнечник		Сахарная свекла	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	Контроль	2.96	-	2.09	-	3.00	-	5.01	-	2.30	-	29.5
NPK + навоз	5.27	2.31	2.48	0.39	4.39	1.39	6.00	0.99	2.73	0.43	45.0	15.5
NPK	4.91	1.95	2.38	0.29	4.25	1.25	5.55	0.54	2.67	0.37	42.7	13.2
NP	4.73	1.77	2.28	0.19	4.08	1.08	4.92	-0.09	2.65	0.35	39.1	9.6
NK	3.77	0.81	2.36	0.27	3.65	0.65	5.26	0.25	2.43	0.13	36.0	6.5
PK	3.63	0.67	2.39	0.30	3.47	0.47	5.06	0.05	2.55	0.25	36.8	7.3

Примечание: 1 – урожай товарной продукции, т/га; 2 – прибавка урожая, т/га. Для всех культур, кроме гороха, урожайные данные представлены за 30 лет (1979-2008 гг.), для гороха – за 10 лет (1999-2008 гг.).

**Таблица 3.** Технологическое качество товарной продукции культур в среднем за 3 ротации.

Вариант опыта	Белок				Масло				Сахар			
	Озимая пшеница		Горох		Яровой ячмень		Кукуруза		Подсолнечник		Сахарная свекла	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль	11.4	0.34	23.3	0.49	11.2	0.34	9.2	0.46	51.2	1.18	15.7	4.63
NPK + навоз	13.2	0.70	25.1	0.62	11.8	0.52	11.5	0.69	50.7	1.38	15.6	7.02
NPK	12.8	0.63	25.3	0.60	11.8	0.50	11.6	0.64	51.0	1.36	16.0	6.83
NP	12.5	0.59	25.1	0.57	11.6	0.47	10.5	0.52	51.0	1.35	15.8	6.18
NK	12.3	0.46	24.9	0.59	11.5	0.42	11.3	0.59	52.8	1.28	15.2	5.47
PK	11.2	0.41	24.1	0.58	10.7	0.37	9.2	0.47	52.4	1.34	16.1	5.92

Примечание: 1 – содержание, %; 2 – сбор, т/га (средние значения за то же количество лет, что и в табл. 2).

Таким образом, даже при высокой обеспеченности пахотного слоя чернозема обыкновенного подвижными формами калия исключение этого элемента питания из состава удобрений снижало продуктивность возделываемых культур. При этом наибольшим недобором урожая при внесении только азотно-фосфорных удобрений отличались пропашные культуры – сахарная свекла и кукуруза.

Изучение качества основной продукции сельскохозяйственных культур свидетельствует о том, что при оптимальной обеспеченности растений элементами питания, в том числе и калием, повышается содержание белка в зерне зерновых и зернобобовых культур (табл. 3). Так, благодаря применению калийных удобрений содержание белка в зерне кукурузы в среднем за три ротации севооборота выросло больше всего – на 1.1%, а в зерне озимой пшеницы, ярового ячменя и гороха на 0.2-0.4%. В результате применения калийных удобрений белковая продуктивность зерна кукурузы и остальных зерновых и зернобобовых культур в среднем выросла на 0.12 и 0.03-0.04 т/га соответственно. При внесении изученных доз калийных удобрений не было их последствий на качество семян подсолнечника (содержание масла). Благодаря применению калийных удобрений сахаристость сахарной свеклы выросла несильно – в среднем на 0.2%, но в результате заметного прироста урожайности сбор сахара повысился на 0.65 т/га. В целом, лучшие показатели качества у всех культур севооборота достигались при внесении навоза в дополнение к минеральным удобрениям.

Таким образом, при достигнутом в опыте уровне урожайности сельскохозяйственных культур применение калийных удобрений способствовало повышению продуктивности растений и улучшению качества получаемой продукции, несмотря на высокую обеспе-

ченность обыкновенного тяжелосуглинистого чернозема подвижными формами калия. Максимальный эффект от внесенного в почву калия наблюдался на таких калиелюбивых культурах, как сахарная свекла и кукуруза. Согласно полученным данным, для поддержания запасов обменного калия в черноземе обыкновенном Западного Предкавказья и получения стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур необходимо внесение калийных удобрений в среднем в дозе 36 кг K<sub>2</sub>O из расчета на один гектар севооборотной площади.

*Баршадская С.И. – заведующая отделом земледелия и защиты почв от эрозии Северокубанской сельскохозяйственной опытной станции Краснодарского НИИ-ИСХ (ст. Ленинградская, Краснодарский край), доктор сельскохозяйственных наук.*

*Дерека Ф.И. – преподаватель кафедры общего земледелия Кубанского государственного аграрного университета, кандидат сельскохозяйственных наук.*

## Литература

- Кулаковский Т.Н., 1990. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М.: Агрохимиздат. 219 с.
- Минеев В.Г., 1999. Агрохимия и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ. 332 с.
- Прокошев В.В. и Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 184 с.
- Полевой В.В., 1989. Физиология растений. М.: Высшая школа. 464 с.
- Агеев В.В. и Подколзин А.И., 2006. Агрохимия, Т. 2. Ставрополь. 276 с.
- Баршадская С.И., 2010. Продуктивность озимой пшеницы в северной зоне Краснодарского края (2-ое дополненное издание). Краснодар. 254 с.

Ониани О.Г., 1981. Агрохимия калия. М.: Изд-во МГУ. 200 с.  
Шеуджен А.Х., 2003. Биогеохимия. Майкоп. С. 145-153.  
Блэк К.А., 1973. Растения и почва. М.: Колос. 503 с.  
Кук Дж., 1970. Регулирование плодородия почвы. М.: Колос. 520 с.  
Корниенко А.В., Бражник А.П. и Баршадская С.И., 2011. Влияние

органических и минеральных удобрений на урожайность и качество сахарной свеклы на черноземе карбонатном (обыкновенном) Западного Предкавказья. Рамонь. 235 с.  
Малюга Н.Г., 1992. Озимая сильная пшеница на Кубани. Краснодар: Кн. изд-во. 240 с.

## Эффективность применения калийных удобрений в Западной Сибири

Якименко В.Н., Носов В.В.

*В статье проанализированы результаты полевых опытов по изучению эффективности применения калийных удобрений в Западной Сибири. На примере наиболее поздних полевых опытов, которые проводились на серых лесных почвах, подробно рассмотрено влияние калийных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур, включая такие калиелюбивые культуры, как картофель и овощи. Кроме того, просчитана экономическая эффективность применения калийных удобрений в регионе в современных условиях.*

Согласно статистическим данным, под урожай 2010 г. сельскохозяйственными предприятиями Сибирского федерального округа было внесено около 6 кг N, 2 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и менее 1 кг K<sub>2</sub>O на 1 гектар посевной площади (РОССТАТ, 2012). Безусловно, использование парового поля позволяет решить проблему азотного питания растений, но надо иметь в виду, что это может, в конечном итоге, отрицательно сказываться на запасах гумуса в почве. Судя по складывающейся ситуации с применением минеральных удобрений в Сибири, питание растений фосфором и калием в регионе обеспечивается, практически, только за счет почвенных резервов этих элементов. Таким образом, сибирское земледелие в настоящее время функционирует, в основном, за счет использования почвенного плодородия, что в целом представляет собой экстенсивный путь развития. Учитывая необходимость интенсификации агропроизводства в Западно-Сибирском регионе, с одной стороны, и сложившуюся экономическую ситуацию, с другой, вопрос о целесообразности и эффективности применения минеральных и, в частности, калийных удобрений в современных условиях представляется весьма актуальным.

В настоящее время в регионе практически не проводится полевых опытов по изучению эффективности применения калийных удобрений. Поэтому в своем анализе мы будем опираться на результаты наиболее поздних исследований по этому вопросу. Данная экспериментальная база является очень важной наработкой специалистов в области питания растений.

В **табл. 1** дается обобщение ряда полевых опытов по изучению эффективности применения калийных удобрений, проведенных в Западной Сибири в условиях без орошения. С учетом наименьшей обеспеченности дерново-подзолистых почв калием на данных почвах наблюдалась максимальная отзывчивость яровой пшеницы на применение калийных удобрений – относительная прибавка урожая составляла от 6 до 28%. В зоне распространения дерново-подзолистых почв эффект от внесения калия, безусловно, выше на почвах легкого гранулометрического состава в связи с их низкой обеспеченностью доступным калием. На серой лесной и темно-серой лесной почвах внесение в почву калия повышало урожай яровой пшеницы на 2-11%.

На выщелоченных черноземах применение калийных удобрений способствовало росту урожайности зерновых культур максимум на 16%, но в ряде опытов внесение калия в почву не давало эффекта. Урожайность кукурузы при выращивании на зеленую массу при внесении калия на черноземах повышалась на 8-10%.

Безусловно, в каждом конкретном случае отзывчивость растений на калий на черноземах зависела от обеспеченности почв его доступными формами. Так, при очень высоком природном содержании обменного калия в черноземах, которое может достигать 600 мг K<sub>2</sub>O/кг почвы и выше (по методу Масловой), вряд ли стоит ожидать эффекта от применения калийных удобрений, особенно на зерновых культурах. В многолетних исследованиях на серых лесных почвах было показано, что по сравнению с содержанием подвижного калия (по методу Чирикова) содержание обменного калия (по методу Масловой) является более информативным показателем, более чутко реагирующим на истощение почвы по калию или улучшение калийного состояния почв в результате применения калийных удобрений (Якименко, 2009). В этой связи, в дополнение к усовершенствованным классам обеспеченности почв лесостепной зоны подвижным калием с учетом их гранулометрического состава, были предложены и градации по обеспеченности почв обменным калием (**табл. 2**).

Важно отметить, что большинство проведенных опытов, в которых изучалось действие калия, были краткосрочными (до 3-4 лет), т.е. без длительного одностороннего внесения азотно-фосфорных удобрений и соответствующего истощения почв по калию. Чаще всего в опытах выращивалась яровая пшеница. Сравнительно мало экспериментальных данных по эффективности внесения калия под калиелюбивые культуры. Кроме того, во многих опытах достигался сравнительно невысокий уровень урожайности сельскохозяйственных культур, что являлось причиной низкой потребности растений в элементах минерального питания, включая и калий. Даже более ранние обобщения результатов исследований, проведенных в лесостепной и степной зонах Западной Сибири, свидетельствуют о том, что потребность в применении калийных удобрений возникает толь-

**Таблица 1.** Результаты ряда полевых опытов по изучению эффективности применения калийных удобрений в Западной Сибири (цит. по Якименко, 2003)

Тип почвы	Культура	Урожайность, т/га			Прибавка от К, %	Автор
		0	NP	NPК		
Дерново-подзолистая	Пшеница	0.41	1.01	1.29	28	Коптилов, 1980
		1.43	1.85	2.19	18	
		1.30	1.94	2.30	9	Синявский, 1989; Титова, 2000
		1.53	1.88	2.00	6	
Серая лесная	Пшеница	0.65	1.23	1.37	11	Карчевский, 1991
Темно-серая лесная	Пшеница	1.50	2.02	2.06	2	Захаров, 1982
Чернозем выщелоченный	Овес	1.28	2.06	2.34	14	Жукова, 1974
	Ячмень	1.48	1.94	2.25	16	
	Пшеница	1.20	1.60	1.86	16	
	Пшеница	2.82	3.19	3.13	-2	Гусельников, 1973
	Кукуруза (на з.м.)	29.5	39.8	42.8	8	Русакова, 1981
	Ячмень	3.09	3.61	3.85	7	
	Пшеница	2.70	3.64	3.43	-6	
	Пшеница	2.66	2.96	3.09	4	
	Капуста	47.0	68.9	70.8	3	Алмазов и Холуяко, 1983
	Морковь	41.2	50.6	53.9	7	
Картофель	28.2	32.7	34.1	4		
Томат	41.6	46.5	52.8	14	Алмазов и Холуяко, 1994	
Чернозем южный	Кукуруза (на з.м.)	21.8	30.2	33.1	10	Алтунин и др., 1983

Примечание: указаны яровая пшеница и яровой ячмень; з.м. – зеленая масса.

**Таблица 2.** Градации обеспеченности зональных почв лесостепи Западной Сибири обменным калием (по методу Масловой), мг  $K_2O$ /кг почвы (Якименко, 2009)

Обеспеченность	Гранулометрический состав почвы		
	Легкосуглинистый	Среднесуглинистый	Тяжелосуглинистый
Низкая	< 100	< 150	< 200
Неустойчивая	100 - 150	150 - 200	200 - 250
Оптимальная	150 - 200	200 - 250	250 - 300
Повышенная	> 200	> 250	> 300

ко при урожайности зернофуражных культур более 3 т/га (Гамзиков и др., 1989).

На многие вопросы по эффективности калийных удобрений в лесостепной зоне позволили ответить полевые мелкоделяночные опыты, которые были проведены в 1988-2005 гг. на целинной серой лесной среднесуглинистой почве со следующими исходными характеристиками (слой 0-20 см): содержание гумуса – 4.9%, ЕКО – 21 мг-экв/100 г почвы, содержание обменного калия (по Масловой) – 145 мг  $K_2O$ /кг почвы (Якименко, 2006). Опыты параллельно проводились на двух участках – зерновом и овощном. На зерновом участке сначала провели три ротации четырехпольного зернокормowego севооборота (яровая пшеница – яровая пше-

ница – ячмень – овсяно-гороховая смесь на зеленую массу), затем два года выращивали яровую пшеницу, а в последующие годы – кукурузу на силос. На овощном участке сначала провели три ротации четырехпольного овощного севооборота (капуста – томат – лук – морковь), а затем выращивали картофель.

Схема опытов включала следующие варианты: 1) контроль (без удобрений), 2) NP, 3) NPК<sub>1</sub>, 4) NPК<sub>2</sub>, 5) NPК<sub>3</sub>, 6) NPК<sub>4</sub>. Азот и фосфор применялись из расчета 100%-ной компенсации выноса данных элементов питания планируемым высоким урожаем, а четыре возрастающие дозы калия вносились из расчета компенсации выноса этого элемента планируемым высоким урожаем, соответственно, на 25, 50, 75 и 100%. В табл. 3 указаны конкретные дозы удобрений под все выращиваемые культуры. Удобрения вносились ежегодно весной перед посевом или высадкой рассады в виде аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия.

**Таблица 3.** Дозы удобрений в полевых опытах на серой лесной почве (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O), кг/га (Якименко, 2003)

Участок	Культура	N	P	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>
Зерновой	1-ая яровая пшеница	90	60	30	-	90	-
	2-ая яровая пшеница	90	60	30	-	90	-
	Яровой ячмень	120	60	39	-	117	-
	Овсяно-гороховая смесь	120	60	36	-	108	-
	Кукуруза на силос	180	90	75	-	225	-
Овощной	Капуста	200	140	111	222	333	444
	Томат	120	120	47	94	141	188
	Лук	55	23	25	50	75	100
	Морковь	126	78	64	128	192	256
	Картофель	180	60	81	162	243	324

**Таблица 4.** Урожайность культур в полевых опытах на серой лесной почве (среднее за 1988-2005 гг.), т/га (Якименко, 2006)

Участок	Культура	0	NP	NPK <sub>1</sub>	NPK <sub>2</sub>	NPK <sub>3</sub>	NPK <sub>4</sub>	НСП <sub>0.05</sub>
Зерновой	1-ая яровая пшеница	2.79	3.14	3.26	-	3.32	-	0.35
	2-ая яровая пшеница	2.38	2.66	2.77	-	2.90	-	0.21
	Яровой ячмень	3.49	4.02	4.25	-	4.52	-	0.65
	Овсяно-гороховая смесь	21.0	23.6	24.6	-	26.2	-	2.5
	Кукуруза на силос	43.5	49.8	60.6	-	67.6	-	10.9
Овощной	Капуста	85.0	106.1	110.8	113.0	115.6	116.9	10.5
	Томат	35.0	49.4	54.1	56.1	57.2	59.9	6.9
	Лук	16.6	17.6	19.6	21.1	21.7	20.1	3.8
	Морковь	59.6	57.4	68.6	71.7	73.8	77.1	6.7
	Картофель	14.4	14.9	26.3	34.6	35.4	36.0	8.0

Примечание: для овсяно-гороховой смеси и кукурузы на силос – урожай зеленой массы, для лука – урожай лука-репки.

Анализ среднесезонных данных по урожайности сельскохозяйственных культур, выращиваемых на зерновом участке опыта, свидетельствует о тенденции к увеличению урожайности 1-ой яровой пшеницы и ярового ячменя при применении калийных удобрений (табл. 4). У 2-ой пшеницы достоверная прибавка урожая зерна от калия по сравнению с вариантом, где вносились только NP-удобрения, получена при внесении максимальной дозы калия (90 кг K<sub>2</sub>O/га). Внесение максимальных доз калия (соответственно, 108 и 225 кг K<sub>2</sub>O/га) давало также достоверную прибавку урожая зеленой массы овсяно-гороховой смеси и кукурузы на силос. Что касается овощного участка, статистически значимое увеличение урожайности таких калиелюбивых культур, как картофель и морковь наблюдалось уже при внесении минимальных доз калия (соответственно, 64 и 81 кг K<sub>2</sub>O/га). На капусте, томате и луке достоверные прибавки урожая были получены при внесении только высоких доз калия, но тенденция положительного влияния калийных удобрений на урожай данных овощных культур прослеживается при внесении практически всех возрастающих доз калия. Важно отметить, что максимальная эффективность калийных удобрений наблюдалась на картофеле – урожай клубней вырос в 1.8-2.4 раза при внесении четырех изученных доз калия. На втором месте по величине относительной прибавки урожая при внесении в почву калия была кукуруза на силос – урожай зеленой массы вырос в 1.4 раза при внесении максимальной дозы калия (225 кг K<sub>2</sub>O/га). Высокая эффективность применения калийных удобрений была получена и на моркови, урожайность которой повысилась в 1.3 раза также в результате внесения наиболее высокой дозы калия (256 кг K<sub>2</sub>O/га).

При внесении калийных удобрений на зерновом участке в минимальных для данного опыта дозах (30-75 кг K<sub>2</sub>O/га в зависимости от культуры) агрономическая эффективность калийных удобрений или окупаемость 1 кг K<sub>2</sub>O прибавкой товарной части урожая составила (кг/кг): для 1-ой яровой пшеницы – 4.0, для 2-ой яровой пшеницы – 3.7, для ярового ячменя – 5.9, для овсяно-гороховой смеси – 27.8, для кукурузы на силос – 144.0. На овощном участке (при дозах калия 25-111 кг K<sub>2</sub>O/га) данный показатель имел следующие значения (кг/кг): для капусты – 42.3, для томата – 100.0, для лука – 80.0, для моркови – 175.0 и для картофеля – 140.7. Безусловно, калийные удобрения очень хорошо

окупаются при внесении под калиелюбивые культуры (овощи, картофель, кукуруза на силос), поскольку у данных культур были получены высокие прибавки урожая. Однако наибольший интерес представляет анализ окупаемости хлористого калия в современных экономических условиях на зерновых культурах, учитывая их большую долю в структуре посевов. Так, согласно нашим оценкам, в текущих условиях порог условной окупаемости хлористого калия и на яровой пшенице, и на ячмене составляет как минимум 2.4 кг зерна на 1 кг K<sub>2</sub>O. При данном анализе мы учитывали средние цены на мягкую пшеницу 3-го класса и фуражный ячмень, а также поставку хлористого калия насыпью (при 30% наценке на дистрибуцию). Не учитывались затраты на доставку удобрений в хозяйство, их внесение в почву, а также уборку и доработку прибавки урожая. Таким образом, согласно нашим расчетам, применение калийных удобрений под зерновые культуры на серых лесных почвах Западной Сибири является экономически выгодным. При этом максимальную отдачу стоит ожидать на яровом ячмене по сравнению с яровой пшеницей.

В заключении следует отметить, что в каждом конкретном случае при решении вопроса о целесообразности использования калийных удобрений следует принимать во внимание обеспеченность почвы конкретного поля обменным калием, потребность выращиваемой культуры в этом элементе и предполагаемый уровень ее урожайности. С учетом еще недостаточно развитой дистрибуторской сети минеральных удобрений в регионе и в целом несовершенной системы закупок продукции растениеводства у сельхозпроизводителей возможна ситуация, когда складывается не очень благоприятное соотношение цен на зерно пшеницы и калийные удобрения. В этом случае при хорошей обеспеченности почв обменным калием имеет смысл внести калийные удобрения в севообороте под калиелюбивые культуры в расчете на его дальнейшее последствие и на яровой пшенице.

Якименко В.Н. – ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск), доктор биологических наук; e-mail: yakimenko@issa.nsc.ru. Носов В.В. – региональный директор по Югу и Востоку России Международного института питания растений, кандидат биологических наук; e-mail: vnosov@ipni.net.



РОССТАТ. 2012. <http://www.gks.ru>

Якименко В.Н. 2009. Плодородие, 4 (49): 8-10.

Гамзиков Г.П., Ильин В.Б., Назарюк В.М. и др. 1989. Агротехнические

свойства почв и эффективность удобрений. Наука, Сиб. отд-ние, Новосибирск. 254 с.

Якименко В.Н. 2003. Калий в почвах агроценозов Западной Сибири: Дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск. 306 с.

Якименко В.Н. 2006. Агротехника, 5: 3-11.

## Калийное состояние почв Украины и эффективность калийных удобрений

Христенко А.А., Иванова С.Е., Гладких Е.Ю., Истомина Ю.А.

*Невысокая эффективность калийных удобрений на черноземах обыкновенных, южных, темно-каштановых и каштановых почвах тяжелого гранулометрического состава во многом определяется недостатком влаги, характерным для зоны распространения данных почв.*

*С повышением уровня агротехники и точности почвенной диагностики, широком использовании приемов, направленных на накопление и сохранение почвенной влаги, оптимизации азотно-фосфорного питания, агрохимический и экономический эффект от применения калийных удобрений существенно возрастает.*

**А**нализ данных агрохимической службы Украины, географической сети опытов с удобрениями, а также материалов, полученных ННЦ ИПА имени А.Н. Соколовского, показал, что эффективность калийных удобрений определяется рядом факторов, в том числе культурой земледелия, климатическими условиями, уровнем плодородия почв.

Относительно низкая эффективность калийных удобрений наблюдается, прежде всего, на черноземах типичных (частично), обыкновенных, южных и каштановых почвах тяжелого гранулометрического состава, что принято объяснять высокой обеспеченностью этих почв калием (Носко и др., 1996; Носко, Прокошев, 1999).

На большинстве других почв, при оптимизации условий выращивания сельскохозяйственных культур, эффективность калийных удобрений достаточно высокая.

Несмотря на это, уровень применения калийных удобрений на Украине за последние 20 лет упал с 42 кг до 7 кг  $K_2O$  на гектар посевной площади. В результате, содержание подвижного калия в настоящее время в большинстве почв находится на уровне природного его содержания, соответствующего средней обеспеченности данным элементом питания растений. Поэтому для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур на всех без исключения некуль-

туренных пахотных почвах необходимо вносить калийные удобрения.

Основной целью данной работы является обсуждение проблемы калийного состояния почв Украины и повышения эффективности использования калийных удобрений.

Территория страны подразделяется на следующие основные природные зоны: Украинское Полесье, Лесостепь и Степь.

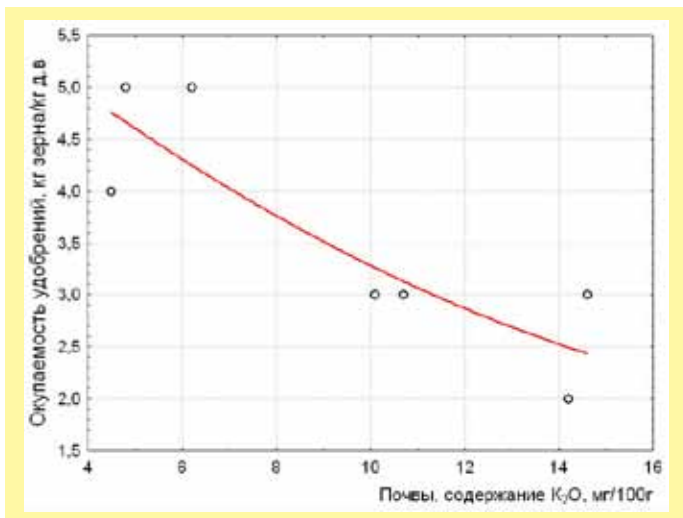
Наиболее пестрым является почвенный покров Полесья, что обусловлено большой неоднородностью гранулометрического и химического состава почвообразующих пород, хорошо развитым мезорельефом, близким уровнем залегания грунтовых вод. Преобладают (более 65%) дерново-подзолистые песчаные и глинисто-песчаные почвы.

Почвообразующей породой большей территории зоны Лесостепи служат лессы и лессовидные суглинки, преимущественно суглинистого гранулометрического состава. В почвенном покрове данной зоны преобладают черноземы типичные, составляющие около 57 % общей площади пашни.

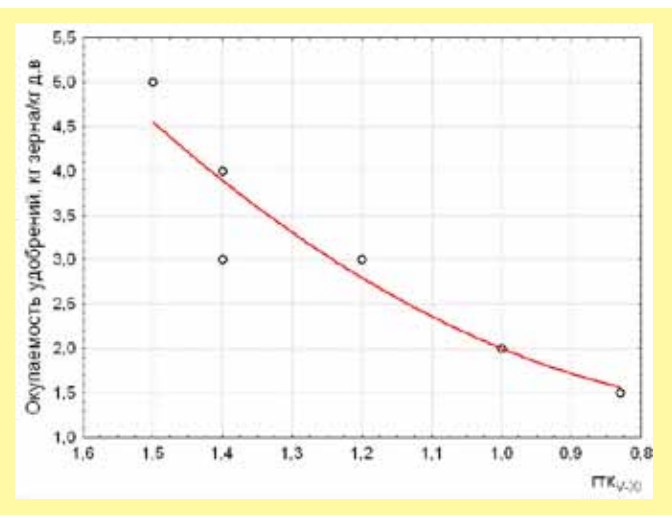
Почвенный покров Степи на лессовых породах представлен черноземными и каштановыми почвами. Преобладают черноземы обыкновенные, главным образом, тяжелосуглинистого и глинистого гранулометрического состава: они составляют около 60 %

Таблица 1. Окупаемость калийных удобрений прибавкой урожая культур

Область	Средневзвешенное содержание $K_2O$ мг/100 г почвы (по данным агрохимслужбы)	Окупаемость К, кг зерна/кг $K_2O$		Значение $ГТК_{V-IX}$
		Спутник агронома, 2010	Носко, 1990	
Озимая пшеница				
Черниговская	5.9	9.6	>8	1.1-1.3
Закарпатская	13.6	13.5	>8	1.8-2.0
Луганская	8.2	1.5	<2	0.83-0.89
Сахарная свекла				
Ивано-Франковская	10.1	44	> 60	1.5-1.8
Полтавская	8.3	25	20-30	0.9-1.0



**Рис. 1.** Динамика окупаемости калийных удобрений (доза К60 на фоне NP) прибавкой урожая зерна озимой пшеницы в направлении с северо-запада на юго-восток Украины



**Рис. 2.** Динамика окупаемости калийных удобрений (доза К60 на фоне NP) прибавкой урожая зерна озимой пшеницы в направлении с северо-запада на юго-восток Украины в зависимости от значений гидротермического коэффициента

общей площади пашни. Почвообразующей породой на основной территории зоны Степи является лесс и лессовидные суглинки. Такой же сравнительной однородностью характеризуется и минералогический состав илистой фракции почв, в котором преобладают гидрослюды и продукты их выветривания (каолинит и др.).

Содержание валового калия в пахотном слое почв Украины колеблется от 0.1% в торфяных почвах до 2.3-2.4 % в черноземах обыкновенных и южных тяжелого гранулометрического состава. Характерной особенностью является четко выраженная зональность в содержании валового калия, которая определяется, главным образом, гранулометрическим составом почвообразующей породы. Содержание валового калия возрастает от дерново-подзолистых глинисто-песчаных почв Полесья до черноземов южных и темно-каштановых тяжелосуглинистых и глинистых почв.

Как уже отмечалось, принято считать, что в направлении с северо-запада на юго-восток, то есть от Полесья до крайнего юга Степи, эффективность калийных удобрений снижается, что связывают с утяжелением гранулометрического состава и увеличением содержания валового и подвижного калия.

На первый взгляд, данное утверждение выглядит вполне убедительным. Так, например, согласно анализу почв, природное содержание подвижного калия в пахотном слое почв возрастает от 1-4 мг/100 г почвы в дерново-подзолистых глинисто-песчаных почвах Полесья (ГОСТ 26207-91-метод Кирсанова), до 29-37 мг  $K_2O$  /100 г почвы в черноземах обыкновенных и южных тяжелосуглинистого и глинистого гранулометрического состава зоны Степи (ГОСТ 26204-91- метод Чирикова) (Носко и др., 1996). Проведенная нами статистическая обработка данных географической сети опытов и материалов агрохимической службы Украины ("Центргосплородорие") показывает, что при этом снижается и окупаемость калийных удобрений прибавкой урожая сельскохозяйственных культур, в том числе озимой пшеницы (рис.1). Содержание  $K_2O$  на рисунке дано в пересчете на метод Чирикова.

Дальнейшие исследования показали, что в действительности причинно-следственные связи несколько иные. Дело в том, что почвы на лессовых породах

тяжелого гранулометрического состава, в том числе черноземы, содержат повышенное количество апатитов, а также различных калийсодержащих минералов. Фосфор или калий, содержащиеся в этих минералах, растениям непосредственно недоступны, но могут частично экстрагироваться растворами сильных и слабых кислот, в том числе 0.5 М раствором уксусной кислоты (ГОСТ 26204) (Прокошев, Носов, 2000; Христенко, 2010). Вследствие этого оценка калийного режима тяжелых почв, полученная на основе так называемых "жестких" методов, как правило, сильно завышена (Христенко, 2007).

Не менее известен и тот факт, что подтвержденное опытными данными снижение эффективности применения калийных удобрений в Украине происходит от западных, более увлажненных, к восточным и юго-восточным, более засушливым провинциям (Агрохимическая характеристика почв СССР, 1973).

Одним из наиболее объективных показателей, характеризующих влагообеспеченность территорий, является гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК). При значениях данного коэффициента за май - сентябрь <1, фактором, лимитирующим урожай большинства сельскохозяйственных культур и определяющим низкую эффективность удобрений, является именно недостаток влаги.

Это можно показать на примере нескольких, контрастных по этому показателю, областей (табл. 1).

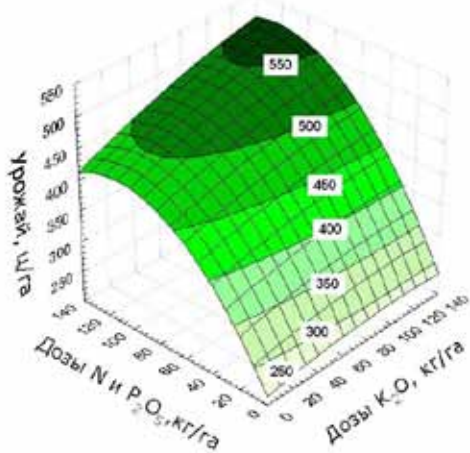
Как видно из приведенных материалов, величина окупаемости калийных удобрений прибавкой урожая зерна озимой пшеницы и корнеплодов сахарной свеклы определяется не содержанием калия в почвах (природным), а условиями влагообеспеченности.

Данные, полученные в результате статистической обработки литературных материалов, в том числе (Носко и др., 1996; Носко, 1994), подтвердили этот вывод (рис.2). Установленная закономерность описывается следующим уравнением:

$$Y = 2.54 - 4.3X + 3.76 X^2, \quad r = 0.84$$

где Y - окупаемость удобрений, кг зерна/ кг  $K_2O$ ;

X - гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК).



**Рис. 3.** Зависимость урожая зеленой массы кукурузы от доз азотных, фосфорных и калийных удобрений

Согласно полученной математической модели, при значении  $ГТК_{V-IX}$ , соответствующему коэффициенту, например, 1.7, окупаемость 1 кг  $K_2O$  удобрений составляет 6.1 кг зерна пшеницы, а при значении  $ГТК_{V-IX}$  0.7 – всего 1.4 кг зерна пшеницы.

Аналогичная закономерность была получена и при анализе эффективности калийных удобрений, внесенных под другие основные культуры: кукурузу на зерно и сахарную свеклу.

Таким образом, проведенные нами исследования показали, что относительно невысокая агрономическая эффективность калийных удобрений на черноземах обыкновенных, южных и, частично, типичных, темно-каштановых и каштановых почвах связана не столько с хорошей обеспеченностью этих почв калием, сколько с недостаточной обеспеченностью влагой.

Следует отметить, что негативно влияет на окупаемость калийных удобрений не только недостаток влаги, но и ряд других факторов. Прежде всего, это невысокий, в целом, уровень культуры земледелия, несбалансированность азотно-фосфорного питания, а также несовершенство почвенной диагностики. Повышение точности диагностики в отношении элементов питания растений позволяет оптимизировать дозы вносимых удобрений и существенно повысить их эффективность.

Наблюдаемая в отдельные годы или в отдельных хозяйствах повышенная доступность растениям калия на почвах тяжелого гранулометрического состава объясняется, на наш взгляд, не столько высоким количеством “подвижного” калия, сколько способностью самих растений “добывать” в благоприятных условиях несколько больше калия при возрастании его общего количества. Однако практика использования удобрений, в том числе на орошаемых землях, показывает, что возможности растений, даже в этом случае, весьма ограничены.

На оподзоленных почвах, характеризующихся хорошей или удовлетворительной обеспеченностью влагой, окупаемость калийных удобрений, как правило, достаточно высокая.

Для проверки данного положения в 2011 году на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом с природным содержанием фосфора и калия был заложен полевой опыт. Содержание подвижного фосфора и

калия составляло, соответственно: 4.5 мг  $P_2O_5$ /100 г и 8.1 мг  $K_2O$ /100 г по Чирикову - ГОСТ 26204-91. Согласно данным анализа, проведенного по национальному стандарту Украины - ДСТУ 4115-2002 (метод Чирикова) - содержание калия соответствует 6.1 мг  $K_2O$ /100 г. Различия объясняются тем, что нормативным документом Украины предусмотрена обязательная поправка на влияние гранулометрического состава почв.

Значение  $ГТК_{V-IX}$  для данной территории составляет 1.0. В качестве калийного удобрения использовался калий хлористый гранулированный. Исследования проводились в рамках совместного проекта ННЦ ИПА и Международного института питания растений (International Plant Nutrition Institute).

Анализ полученных материалов показал следующее. Урожай зеленой массы кукурузы (первой культуры звена севооборота) на варианте абсолютный контроль составил 218 ц/га.

Внесение калийных удобрений на азотно - фосфорном фоне позволило получить статистически достоверные прибавки урожая, причем, чем лучше растения были обеспечены азотом и фосфором, тем выше была и отдача от калийных удобрений.

Если на фоне N0P0 прибавка урожая кукурузы на варианте K120, как уже отмечалось, составляла 21 ц/га, на фоне N60P60 - 48 ц/га, то на фоне N120P120 - уже 74 ц/га. То есть, сбалансированность питания позволила существенно повысить отдачу от применения калийных удобрений.

Полученная математическая модель зависимости урожая от доз и соотношений калийных и азотно-фосфорных удобрений показала, что для достижения высокого урожая - 500 ц/га (91% от максимального) в условиях 2011 г. требовалось внести 40 кг  $K_2O$ /га и по 90 кг N и  $P_2O_5$  /га. Модель показала, что для достижения подобного результата можно использовать и другое, возможно более приемлемое для фермера, сочетание доз макроудобрений, например, 80 кг  $K_2O$ /га и по 70 кг N и  $P_2O_5$  /га (рис. 3).

Расчет экономической эффективности применения удобрений подтвердил данный вывод и показал, что наибольший экономический эффект получен вследствие применения минеральных удобрений в дозе N90P90K40. Уровень рентабельности при этом оставался на уровне варианта N60P60K30 - 310 %, но чистый доход от прироста урожая зеленой массы кукурузы увеличился, при этом, на 30 %.

Положительное действие калийных удобрений на урожай изучаемой культуры подтвердило почвенный диагноз о недостаточной обеспеченности чернозема оподзоленного доступным калием. Кроме того, результаты опыта свидетельствуют о целесообразности применения калийных удобрений на черноземах (значения  $ГТК_{V-IX}$  территории 1.0 и более), при условии оптимизации азотно-фосфорного питания растений.

Невысокая агрономическая эффективность калийных удобрений на черноземах обыкновенных, южных, темно-каштановых и каштановых почвах тяжелого гранулометрического состава связана не столько с хорошей их обеспеченностью калием, сколько с недостатком влаги, характерным для зоны распространения данных почв.

С повышением уровня агротехники и точности почвенной диагностики, широким использованием

приемов, направленных на накопление и сохранение почвенной влаги, а также при условии оптимизации азотно-фосфорного питания и доз удобрений в целом, агрохимический и экономический эффект от применения калийных удобрений существенно возрастает.

Христенко А.А. - кандидат. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела агрохимии, Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского», Харьков, Украина; e-mail: khristenko.an@mail.ru

Иванова С.Е.- кандидат биологических наук, вице-президент Международного Института Питания Растений по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку. e-mail: sivanova@iprni.net

Гладких Е.Ю. - научный сотрудник отдела агрохимии, Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского», Харьков, Украина; e-mail: liza86@mail.ru

Истомина Ю.А. - аспирант, Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского», Харьков, Украина.

## Литература

- Носко Б.С., Лисовой Н.В., Столяр В.М. Калий в почвах Украины и эффективность калийных удобрений.- Харьков: ИПА УААН, 1996.- 177 с.
- Носко Б.С., Прокошев В.В. Калійні добрива в землеробстві України.-М: Міжнародний інститут калію, 1999.- 55 с.
- Прокошев В.В., Носов В.В. Теоретические и практические аспекты исследования некоторых методов определения калия в почве // Почва - удобрение - плодородие. -Минск: БелНИИПА, 2000. -С.92-98.
- Христенко А.А К вопросу о плодородии черноземных почв // Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тематичн. наук. зб. Спец. випуск. до VIII з'їзду УТГА (5-9 липня 2010 р., м. Житомир). Кн.3. Житомир: "Рута", 2010.С.292-294.
- Христенко А.А. Оценка химических методов определения содержания подвижного калия в почвах //Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тематичн. наук. зб. 2007.-Вип. 67. -С.90-98.
- Агрохимическая характеристика почв СССР Украинская ССР / Под. ред. Соколова А.В. и Крупского Н.К. -М.:Наука, 1973. -344 с.
- Спутник агронома: довідник /Є.М.Білецький, М.П. Бобро, С.Ю.Булигін та ін./ за ред..С.Ю.Булигіна. -Х.: ХНАУ, 2010. -256 с.
- Носко Б.С. Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив.-К.: Урожай, 1990.- 224 с.

# Эффективность применения хлористого калия при возделывании сахарной свеклы в условиях Западной Лесостепи Украины

Полевой В.М., Лукащук Л.Я.

*По результатам 3-летних исследований на темно-серых легкосуглинистых почвах Западной Лесостепи Украины установлена высокая эффективность внесения возрастающих доз калийных удобрений под сахарную свеклу. На фоне внесения N120P120 оптимальной оказалась доза калия 120 кг K<sub>2</sub>O/га. По отношению к фону урожайность увеличилась на 13%, а сбор сахара с 1 га – на 15%; окупаемость 1 кг K<sub>2</sub>O прибавкой урожая корнеплодов составила 45,5 кг.*

**Н**а минеральные удобрения приходится большая часть производственных затрат при выращивании сахарной свеклы. Их окупаемость зависит от многих факторов, и одним из главных является сбалансированность минерального питания. Наряду с другими питательными веществами для нормального роста и развития сахарной свеклы огромное значение имеет обеспеченность растений калием.

Потребление калия – неперемное условие для нормального роста и развития сельскохозяйственных культур. Внесение калийных удобрений под сахарную свеклу является обязательным приемом, так как они не только повышают урожай корнеплодов, но и улучшают их технологические качества (Прокошев, 1977; Мазенин, 1975).

Сахарная свекла – культура с высокой потребностью в калии. При урожайности корнеплодов 500–600 ц/га, которой достигли многие сельхозпредприятия Украины, она поглощает около 350–400 кг K<sub>2</sub>O/га (Городній, 2008).

Применение калийных удобрений, согласно опы-

там, проведенным в Украине до 1990 года, обеспечивало увеличение урожайности корнеплодов на 6–12%. Причем в тот период вносили на 1 га севооборота 8–10 т навоза, в том числе под сахарную свеклу – 30–40 т/га, что в сочетании с применением рекомендованных доз калийных удобрений поддерживало высокое содержание обменного калия в почвах зоны свеклосеяния (Сахарная свекла, 1979; Заришняк, Чердничок, 2004; Лісовий, 1988).

В связи с резким уменьшением поголовья скота в сельхозпредприятиях Украины производство навоза сократилось до такого уровня, что он перестал играть существенную роль в повышении плодородия почв и в системах удобрения сельскохозяйственных культур. В среднем за 2000–2010 годы на 1 га пашни было внесено лишь 0,86 т навоза. Среднегодовое внесение калийных удобрений за этот период составило 4,6 кг K<sub>2</sub>O/га пашни (Греков и др., 2010).

Недостаточное поступление калия в почву с удобрениями в сочетании с увеличением в структуре посевов доли таких калиелюбивых культур, как сахарная

**Таблица 1.** Влияние калийных удобрений на урожайность сахарной свеклы, т/га

Варианты	Годы			Среднее	Прибавка		Окупаемость 1 кг $K_2O$ прибавкой урожая корнеплодов, кг
	2009	2010	2011		к контролю	к фону	
Без удобрений (контроль)	34.6	30.9	29.1	31.5	—	—	—
N120P120 (фон)	46.0	42.4	39.8	42.7	11.2	—	—
Фон + K60	50.0	45.2	41.3	45.5	14.0	2.8	46.7
Фон + K120	52.3	47.8	44.4	48.2	16.7	5.5	45.5
Фон + K180	53.4	48.5	45.5	49.1	17.6	6.4	35.6
НСР <sub>0,05</sub>	2.1	1.5	1.8				

**Таблица 2.** Влияние калийных удобрений на качество сахарной свеклы, 2009–2011 гг.

Варианты	Содержание сахара в корнеплодах, %	Сбор сахара, т/га	
		всего	в т.ч. за счет калийных удобрений
Без удобрений (контроль)	17.7	5.65	—
N120P120 - фон	17.4	7.43	—
Фон + K60	17.6	8.01	0.58
Фон + K120	17.7	8.52	1.09
Фон + K180	17.9	8.79	1.36

свекла, подсолнечник и рапс привели к существенному истощению запасов доступных для растений форм калия в почве. Перечисленные изменения условий ведения земледелия обуславливают необходимость установления эффективности применения калийных удобрений в современных условиях, что являлось целью наших исследований.

Изучение влияния хлористого калия на урожайность сахарной свеклы и качество корнеплодов проводили в Институте сельского хозяйства Западного Полесья Национальной академии аграрных наук Украины на протяжении 2009–2011 годов.

Полевые опыты были заложены на темно-серой лесной оподзоленной легкосуглинистой почве со следующими агрохимическими показателями пахотного слоя: гумус по Тюрину – 1.24-1.32%; подвижные фосфор ( $P_2O_5$ ) и калий ( $K_2O$ ) по Кирсанову – соответственно, 164-252 и 87-91 мг/кг почвы; щелочногидролизующий азот по Корнфилду – 86–94 мг/кг почвы; гидролитическая кислотность по Каппену – 1.49-1.98 мг-экв/100 г почвы; рН солевой вытяжки – 5.55-5.65.

Минеральные удобрения вносили согласно схеме опыта в виде аммиачной селитры, суперфосфата простого гранулированного и хлористого калия. Фосфорные и калийные удобрения вносили под зяблевую вспашку, а азотные – весной под культивацию. Посев сахарной свеклы проводили во второй декаде апреля (гибрид Шевченковский). Уход за посевом соответствовал требованиям интенсивной технологии выращивания.

Погодные условия вегетационных периодов 2009–2010 годов были благоприятными для выращивания сахарной свеклы, только в 2011 году снижение количества осадков до 42% от климатической нормы отрицательно отразилось на урожайности корнеплодов.

Эффективность калийных удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур в значительной степени определяется содержанием подвижных форм калия в почве. В свою очередь, оно тесно связано с запасами валового калия, которые

возрастают на почвах с более тяжелым гранулометрическим составом. Поэтому дифференциация эффективности калийных удобрений в земледелии Украины четко выражена в направлении с запада на восток. Почвы западного региона характеризуются преимущественно

легким и средним гранулометрическим составом, что определяет высокую окупаемость калийных удобрений.

Оптимальное содержание подвижного калия в почвах устанавливается на основании отзывчивости сельскохозяйственных культур на калийные удобрения. В Лесостепной зоне Украины оптимальное содержание подвижного калия для сахарной свеклы находится в пределах 160-180 мг  $K_2O$ /кг почвы по методу Кирсанова. Темно-серая лесная оподзоленная легкосуглинистая почва, на которой проводили полевые опыты, характеризуется средним содержанием подвижного калия, которое перед закладкой опытов в среднем за три года составило 83.3-85.1 мг/кг почвы.

Внесение удобрений в значительной степени отразилось на содержании и динамике подвижного калия. При внесении 120 кг/га  $K_2O$  без азота и фосфора его содержание в фазу смыкания листьев в междурядьях выросло на 13.2 мг/кг почвы. Применение возрастающих доз калийных удобрений на фоне N120P120 также обусловило повышение содержания подвижного калия, величина которого зависела от доз удобрений. При внесении K60, K120 и K180 рост составил, соответственно, 8.3; 8.9 и 14.3 мг/кг почвы. Закономерно, что на контроле и фоне N120P120 наблюдалось снижение обеспеченности почвы калием из-за ничем не компенсированного его выноса активно вегетирующими растениями. На период уборки урожая незначительное повышение содержания  $K_2O$  в почве по сравнению с исходным уровнем наблюдалось лишь на вариантах с внесением K120 и K180. На контроле и на фоне N120P120 содержание подвижного калия снизилось, соответственно, на 9.5 и 9.9 мг/кг почвы.

В Лесостепи Украины сахарная свекла является одной из наиболее отзывчивых культур на калийные удобрения. В результате проведенных исследований установлено, что существенная прибавка получена на всех вариантах с калием, предусмотренных схемой опыта (табл. 1). Азот и фосфор, внесенные в рекомендованных для зоны дозах N120P120, способствовали

**Таблица 3.** Экономическая эффективность применения калийных удобрений при выращивании сахарной свеклы

Варианты	Урожай, т/га	Прибавка урожая от удобрений, т/га	Стоимость дополнительной продукции, грн./га	Затраты на удобрения, грн./га	Условно чистый доход, грн./га	Окупаемость затрат на удобрения, грн.
Без удобрений (контроль)	31.5	—	—	—	—	—
N120P120 — фон	42.7	11.2	4480	2363	2117	1.89
Фон + K60	45.5	14.0	5600	2799	2801	2.00
Фон + K120	48.2	16.7	6680	3235	3445	2.06
Фон + K180	49.1	17.6	7040	3671	3369	1.92

повышению урожая корнеплодов на 11.2 т/га по сравнению с контролем (без удобрений), где урожайность составила 31.5 т/га. Однако наибольшие прибавки урожая получены при внесении всех трех элементов питания в почву. Увеличение дозы калия с 60 до 180 кг  $K_2O$ /га на фоне N120P120 способствовало повышению урожайности в среднем за три года с 45.5 до 49.1 т/га. Прибавки урожая от внесения трех доз калия составили, соответственно, 2.8, 5.5 и 6.4 т/га (7; 13 и 15%) по сравнению с фоном, где урожайность корнеплодов была на уровне 42.7 т/га.

Окупаемость калийных удобрений определяется прибавкой урожая, а также зависит от внесенной дозы калия. При этом важную роль играет обеспеченность почвы не только калием, но и другими элементами питания растений. Применение хлористого калия совместно с азотно-фосфорными удобрениями существенно повлияло на повышение его окупаемости. При дозе калия 60 кг  $K_2O$  /га на фоне N120P120 получена наибольшая окупаемость 1 кг  $K_2O$ , которая составила 46.7 кг корнеплодов. Согласно установленной многими исследователями закономерности, прибавки урожая на 1 кг минеральных удобрений, как правило, уменьшаются с увеличением их дозы. Однако, в наших исследованиях повышение дозы калия с 60 до 120 кг/га не существенно снизило его окупаемость - на 1.2 кг или на 3%. Дальнейшее увеличение дозы калия до 180 кг/га оказалось малоэффективным. Несмотря на то, что прибавка урожая от применения такой дозы калия была наиболее высокой в опыте и составила 6.4 т/га, окупаемость калия снизилась до 35.6 кг корнеплодов/кг  $K_2O$ . Это свидетельствует о том, что повышение агрономической эффективности применения калийных удобрений при выращивании сахарной свеклы на темно-серой оподзоленной легкосуглинистой почве обеспечивается при увеличении дозы калийных удобрений до K120 на фоне внесения N120P120.

Основным показателем качества урожая сахарной свеклы является сахаристость. Применение азотных и фосфорных удобрений в дозе N120P120 дало наиболее низкую сахаристость корнеплодов, которая составила 17.4% (табл. 2). Комплексное применение минеральных удобрений повышало содержание сахара в корнеплодах на 0.2–0.5% по сравнению с фоном (N120P120). Это свидетельствует о том, что калийные удобрения способствуют повышению сахаристости корнеплодов и существенно влияют на сбор сахара.

Максимальный выход сахара в среднем за три года исследований (8.79 т/га) был получен при внесении калийных удобрений в дозе K180 на фоне N120P120,

что на 3.14 т/га больше по сравнению с контролем (без удобрений), где он составил 5.65 т/га. За счет применения калийных удобрений дополнительный выход сахара на данном варианте был наиболее высоким и составил 1.36 т/га.

Анализ экономической эффективности применения калийных удобрений показал, что внесение удобрений в дозе K120 на фоне N120P120 обеспечило наиболее высокий условно чистый доход – 3445 грн./га, окупаемость затрат на удобрения при этом составила 2.06 грн. (табл. 3).

Таким образом, при выращивании сахарной свеклы в условиях Западной Лесостепи Украины на темно-серой лесной оподзоленной легкосуглинистой почве применение хлористого калия способствовало повышению содержания подвижных форм  $K_2O$  в пахотном слое почвы на протяжении вегетационного периода растений и во время уборки урожая. Наиболее высоким оно было на вариантах с внесением K120 и K180, и превышало содержание подвижного калия перед закладкой опыта на 2.4 и 4.4 мг/кг почвы. Внесение хлористого калия в дозах 60, 120 и 180 кг  $K_2O$ /га на фоне N120P120 обеспечило получение существенных прибавок урожая - соответственно, 2.8, 5.5 и 6.4 т/га по сравнению с фоном, где урожайность составила 42.7 т/га. Кроме того, применение калийных удобрений на фоне N120P120 способствовало повышению сахаристости корнеплодов на 0.2–0.5%, что в сочетании с повышением урожайности обеспечило увеличение сбора сахара на 0.58–1.36 т/га по сравнению с фоном, где он составил 7.43 т/га.

Повышение агрономической эффективности применения калийных удобрений при выращивании сахарной свеклы на темно-серой лесной оподзоленной легкосуглинистой почве со средним содержанием подвижных форм калия обеспечивается при внесении калия в дозах до 120 кг  $K_2O$ /га на фоне N120P120. При этом 1 кг  $K_2O$  дает 45.5 кг корнеплодов.

*В.М.Полевой – директор Института сельского хозяйства Западного Полесья, доктор с.-х. наук, профессор, член-корреспондент НААН Украины*

*Л.Я.Лукашук – заместитель директора по научной работе Института сельского хозяйства Западного Полесья, кандидат с.-х. наук*

## Литература

Прокошев В.В. Калийные удобрения. – М.: Россельхозиздат, 1977. – 48 с.  
Мазенин К.И. Удобрение сахарной свеклы. – М.: Россельхозиздат,

## Эффективность применения хлористого калия под картофель, рис и хлопчатник в условиях Казахстана

Сапаров А., Елешев Р., Сулейменов Б., Песковский Г.

Одним из главных направлений интенсификации земледелия является его химизация. Это основной способ повышения урожайности всех сельскохозяйственных культур. Эффективность минеральных удобрений на разных почвах неодинакова и во многом зависит от конкретных природных условий, от вида культур, доз, сроков и способов внесения. Для рационального применения минеральных удобрений необходимо учитывать потребность в основных элементах питания важнейших сельскохозяйственных культур и значение каждого элемента в системе почва-растение. Применяемые удобрения должны обеспечивать увеличение урожая, улучшение его качества, повышение плодородия почвы без ее загрязнения. Кроме этого, удобрения оказывают существенное влияние на микрофлору, агрофизические и агрохимические свойства почвы. Таким образом, для повышения эффективности удобрений необходима определенная система их использования с учетом климатических и почвенных условий, особенностей питания сельскохозяйственных культур и чередования их в севообороте.

За последние 10-15 лет применение минеральных удобрений в Казахстане значительно сократилось. Практически не вносились калийные удобрения, что вызвало снижение урожайности культур, ухудшение качества продукции, а также истощение почв по калию.

В связи с этим проведение научно-исследовательских

работ по изучению влияния калийных удобрений на плодородие почвы, урожайность калиелюбивых культур и качество продукции в орошаемой зоне представляет научно-практический интерес. Исследования проводились Казахским научно-исследовательским институтом почвоведения и агрохимии имени У.У. Успанова совместно с Казахским научно-исследовательским институтом хлопководства и Казахским научно-исследовательским институтом картофелеводства и овощеводства. В 2009-2011 гг. на юге и юго-востоке Казахстана проведены 3 полевых опыта: опыт с хлопчатником в Южно-Казахстанской области на светлых сероземах, опыт с картофелем на предгорных темно-каштановых почвах и опыт с рисом на рисово-болотных почвах в условиях Алматинской области. В опытах выращивались: сорт хлопчатника «Мактаарал 4005», сорт картофеля «Аксор», сорт риса «Пакли». Целью эксперимента было изучить влияние различных доз калийных удобрений на условия минерального питания, в том числе на калийный режим почв, а также на урожайность и качество изучаемых культур.

Полевые опыты закладывались по общепринятым методикам. Общая площадь опыта составила 1800 м<sup>2</sup>, размер учетной делянки – 100 м<sup>2</sup>. Повторность – трехкратная. В качестве азотных удобрений применяли аммиачную селитру (34% N), под рис – сульфат аммония; фосфорные удобрения вносили в виде двойного суперфосфата (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). В качестве калийных удо-

**Таблица 1.** Урожайность клубней картофеля и окупаемость хлористого калия прибавкой урожая

Варианты	Урожай клубней, т/га	Прибавка от K <sub>2</sub> O, т/га	Окупаемость 1 кг K <sub>2</sub> O урожаем, кг
Контроль (без удобрений)	13.9	-	-
N90P90 – фон	23.3	-	-
Фон + K35	26.6	3.3	94.3
Фон + K70	27.0	3.7	52.9
Фон + K105	27.6	4.3	41

**Таблица 2.** Урожайность зерна риса и окупаемость хлористого калия прибавкой урожая

Варианты	Урожай зерна, т/га	Прибавка от K <sub>2</sub> O, т/га	Окупаемость 1 кг K <sub>2</sub> O урожаем, кг	Содержание белка, %
Контроль (без удобрений)	2.53	-	-	9.5
N180P90 – фон	3.58	-	-	10.5
Фон + K20	3.87	0.29	14.5	10.6
Фон + K40	4.17	0.61	15.3	10.7
Фон + K60	4.37	0.83	13.8	10.7

**Таблица 3.** Урожайность хлопка-сырца и окупаемость хлористого калия прибавкой урожая

Варианты	Урожай хлопка-сырца, т/га	Прибавка от $K_2O$ , т/га	Окупаемость 1 кг $K_2O$ урожаем, кг
Контроль (без удобрений)	2.72	-	-
N150P90 – фон	3.18	-	-
Фон + K30	3.35	0.17	5.66
Фон + K60	3.42	0.24	4.00
Фон + K90	3.54	0.36	4.00

брений использовали хлористый калий (60%  $K_2O$ ). Фосфорные и калийные удобрения вносили при посеве культур, азотные удобрения – в подкормку.

Эффективность калийных удобрений изучалась на предгорных темно-каштановых, рисово-болотных почвах и светлых сероземах. Агрохимическая характеристика изучаемых почв следующая: в предгорной темно-каштановой почве содержание в пахотном слое гумуса – низкое (2.02%), легкогидролизуемого азота – высокое (46.9 мг/кг), содержание подвижных фосфора и калия по методу Мачигина – высокое, 79.5 мг  $P_2O_5$ /кг и 432 мг  $K_2O$ /кг соответственно. Рисово-болотные почвы характеризовались очень низким содержанием гумуса – 1.43%, средним содержанием легкогидролизуемого азота (38.5 мг/кг), низким содержанием подвижного фосфора (10.2 мг/кг по методу Мачигина), и средним содержанием подвижного калия (287.5 мг/кг по методу Мачигина). В светлых сероземах содержание гумуса было очень низким (0.07%), легкогидролизуемого азота – низким (32.3 мг/кг). По содержанию подвижных форм фосфора и калия по Мачигину светлые сероземы относятся к среднеобеспеченным – 16.6 мг/кг и 292.8 мг/кг соответственно.

Гранулометрический состав светлых сероземов – легкосуглинистый, рисово-болотных и темно-каштановых почв – среднесуглинистый. Все изучаемые почвы карбонатные.

Анализ изменений агрохимических показателей изучаемых почв показал, что применение азотных и фосфорных удобрений повышает в них содержание подвижных форм азота и фосфора. Применение калийных удобрений на фоне азотно-фосфорных удобрений при оптимизации соотношения азота, фосфора и калия в почве также улучшало питательный режим

почвы. Кроме того, эффективность применения калийных удобрений проявлялась не только на почвах с низким, но и со средним и высоким содержанием подвижного калия. В целом, условия минерального питания, в частности калийного, оказали существенное влияние на урожайность хлопчатника, картофеля и риса.

В последние годы в Казахстане уделяется большое внимание возделыванию картофеля. За последние 10 лет урожайность клубней картофеля возросла в среднем с 10 до 15 т/га. Картофель во время вегетации потребляет большое количество элементов питания, особенно калия.

В наших опытах минеральные удобрения оказали существенное влияние на урожайность клубней картофеля. Так, урожай картофеля на контрольном варианте составил 13.9 т/га (табл. 1). Азотные и фосфорные (N90P90) удобрения обеспечили прибавку урожая клубней 9.4 т/га по сравнению с контролем. Прибавка урожая картофеля от калия по отношению к фону составила: при внесении K35 – 3.3 т/га (14%), K70 – 3.7 т/га (16%) и при внесении 105 кг  $K_2O$ /га – 4.3 т/га (19%).

У калийных удобрений была высокая окупаемость на картофеле. В зависимости от дозы калия она составила от 41 кг клубней на 1 кг  $K_2O$  при внесении 105 кг  $K_2O$ /га до 94.3 кг клубней на 1 кг  $K_2O$  в варианте с внесением 35 кг  $K_2O$ /га. Данные результаты говорят о высокой отзывчивости картофеля на калийные удобрения.

Условия минерального питания оказали также влияние и на качественные показатели картофеля. Применение калийных удобрений на фоне азотно-фосфорных удобрений повысило содержание крахмала до 19.8-19.9% по сравнению с контрольным вариантом (18.1%).

**Таблица 4.** Экономическая эффективность применения хлористого калия

Варианты опыта	Дополнительный урожай от $K_2O$ , т/га	Стоимость дополнительного урожая, тыс. тенге/га	Затраты на внесение удобрений, тыс. тенге/га	Условно чистый доход, тыс. тенге/га
Картофель				
Фон+K35	3.3	82.5	4.4	78.1
Фон+K70	3.7	92.5	8.7	83.8
Фон+K105	4.3	107.5	13.1	94.4
Рис				
Фон+K20	0.29	29.0	2.5	26.5
Фон+K40	0.61	61.0	5.0	56.0
Фон+K60	0.83	83.0	7.5	75.5
Хлопчатник				
Фон+K30	0.17	17.0	3.8	13.2
Фон+K60	0.24	24.0	7.5	16.5
Фон+K90	0.36	36.0	11.3	24.7



Одной из перспективных культур орошаемого земледелия Казахстана является рис. Рис требователен к условиям плодородия почвы. Для формирования 1 т риса с соответствующим урожаем соломы расходуется около 30 кг N, 12 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 36 кг K<sub>2</sub>O. Согласно данным трехлетних исследований, урожайность риса на контрольном варианте составила 2.53 т/га (табл. 2). Азотные и фосфорные удобрения (N180P90) обеспечили прибавку урожая 1.05 т/га по сравнению с контролем (2.53 т/га). Прибавка урожая зерна к фону составила: при внесении K20 – 0.29 т/га (8%), K40 – 0.61 т/га (17%) и K60 – 0.79 т/га (22%).

Питательный режим почвы оказал влияние и на содержание белка в зерне. Как показывают результаты опытов, применение калийных удобрений на фоне азотно-фосфорных удобрений повысило содержание белка в зерне риса до 10.6-10.7% по сравнению с контрольным вариантом (9.5%).

Окупаемость хлористого калия в посевах риса была высокой и колебалась от 13.8 до 15.3 кг зерна риса на 1 кг внесенного K<sub>2</sub>O, что свидетельствует о высокой эффективности возрастающих доз калийных удобрений на рисе (до 60 кг K<sub>2</sub>O).

Хлопчатник является в Казахстане важной сельскохозяйственной культурой, занимая около 140 тыс. га. При среднем уровне продуктивности хлопчатника с урожаем выносятся из почвы порядка 150 кг K<sub>2</sub>O с одного гектара. Часть калия поглощается растениями из почвы, остальную часть необходимо внести с удобрениями. Вопрос о применении калийных удобрений становится актуальным при планировании урожая хлопка более 2.5-3.0 т/га.

Данные по сбору урожая хлопка-сырца на изучаемых вариантах показали, что применение минеральных удобрений обеспечивает прибавку урожая по сравнению с контрольным вариантом. Урожайность хлопка-сырца на контроле составила 2.72 т/га (табл. 3). Азотные и фосфорные удобрения (N180P90) обеспечили прибавку урожая в 0.46 т/га по сравнению с контролем. Прибавка урожая хлопка-сырца по отношению к фону составила: при внесении K30 – 0.17 т/га, K60 – 0.24 т/га и K90 – 0.36 т/га, т.е. урожайность при внесении калийных удобрений была выше на 5-11%.

Результаты исследований позволяют утверждать, что положительный эффект от калийного удобрения отмечается не только на почвах с низким содержанием подвижного калия, но и со средним и даже высоким.

Агрономическая эффективность калийных удобрений на хлопчатнике зависела от дозы калия и находилась на стабильно высоком уровне, варьируя между 4.0 и 5.7 кг хлопка-сырца на 1 кг внесенного K<sub>2</sub>O.

Урожайность хлопка-сырца зависит от веса хлопка-сырца с 1 коробочки. Внесение калийных удобрений по азотно-фосфорному фону повышает массу хлопка-сырца с одной коробочки до 6.24-6.28 г по сравнению с контролем (5.70 г).

Применение калийных удобрений оказало суще-

ственное влияние и на качество хлопко-волокна. Так, толщина волокна увеличивается на вариантах с внесением калийных удобрений – показатель микронейр вырос до 4.80-4.82 единиц по сравнению с контрольным вариантом (4.70 единиц).

Экономическая окупаемость минеральных удобрений зависит от полученной достоверной прибавки урожая сельскохозяйственных культур и материальных затрат на внесение удобрений. При анализе сравнительной экономической эффективности применения минеральных удобрений использована региональная рыночная стоимость 1 кг клубней картофеля в 25 тенге, 1 кг зерна риса – 100 тенге и 1 кг хлопко-сырца – тоже 100 тенге. Затраты на применение минеральных удобрений включают расходы на приобретение удобрений и их внесение.

Расчет экономической эффективности (табл. 4) показал, что внесение хлористого калия (K35-105) под картофель обеспечивает получение условно чистого дохода в 78.1-94.4 тыс. тенге, при внесении K20-60 под рис доход составляет 26.5-75.5 тыс. тенге, при внесении K60-90 под хлопчатник условно чистый доход – 13.2-24.7 тыс. тенге.

Таким образом, результаты полевых исследований за 2009-2011 годы показали высокую эффективность применения хлористого калия под хлопчатник, картофель и рис на фоне азотно-фосфорных удобрений. При этом обеспечивается достоверная прибавка урожая культур и повышается качество продукции.

Для внедрения в производство рекомендуется в дополнение к азотным и фосфорным удобрениям вносить калийные удобрения (хлористый калий) в следующих дозах с учетом обеспеченности изученных почв подвижным калием:

- 40-60 кг K<sub>2</sub>O/га под рис на низко- и среднеобеспеченных подвижным калием рисово-болотных почвах Алматинской области;
- 60-90 кг K<sub>2</sub>O/га под хлопчатник на среднеобеспеченных обменным калием светлых сероземах Южно-Казахстанской области;
- 35-70 кг K<sub>2</sub>O/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

Мюррелл 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) продемон-

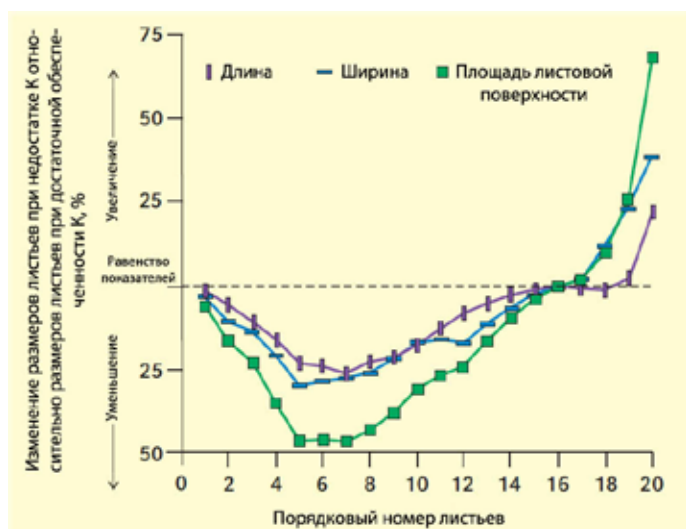
стрировали это в двух полевых опытах, в которых изучались разные дозы, формы и способы внесения калийных удобрений. Проанализировав влияние всех факторов, они обнаружили, что удобрением калием статистически значимо ( $p = 0.05$ ) увеличивает высоту растений кукурузы – на 11-28%, 10-12%, 9-16% и 15-36% при измерении, соответственно, на 26-й, 31-й, 44-й и 65-й день после посева.

## 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,



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



**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).

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.

## Задержка выметывания пестичных столбиков

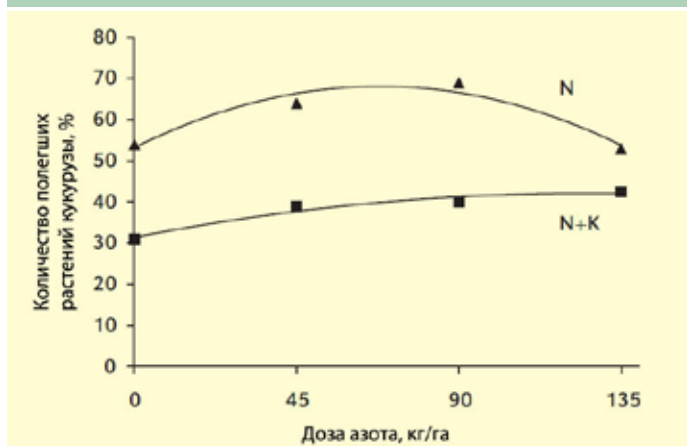
Задерживая сроки выметывания метелок, недостаток калия также приводит к отставанию развития растений и перед выметыванием пестичных столбиков (стадия R1). Яунтс и Мусгрейв (Younts and Musgrave, 1958) установили, что при удобрении кукурузы калием значительно возросло количество растений, которые в зависимости 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

\* 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).

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 Пеллерином (Jordan-Meille and Pellerin, 2004), в работе которых максимальное отставание в развитии растений, составившее менее

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 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 Цзилинь<sup>1</sup>, внесение в почву хлористого калия снижает степень распространения стеблевых гнилей кукурузы на 48% (Liu et al., <sup>1</sup>В 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 м<sup>2</sup>. 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 (CaCl<sub>2</sub>). Для изучения совместного действия калия и хлора был использован хлористый калий (KCl). Эффективность только калия оценивалась при внесении в почву калийной селитры (KNO<sub>3</sub>). 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 <sub>4</sub>	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn	Cl	pH <sub>H2O</sub>
	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 <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	KNO <sub>3</sub>		KCl		CaCl <sub>2</sub>
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O	Cl	Cl
NP (фон)	200	120	-	-	-	-	-
+ K <sub>120</sub>	158	120	120	43	-	-	-
+ K <sub>240</sub>	114	120	240	86	-	-	-
+ K <sub>120</sub> Cl <sub>90</sub>	200	120	-	-	120	91	-
+ K <sub>240</sub> Cl <sub>180</sub>	200	120	-	-	240	182	-
+ Cl <sub>90</sub>	200	120	-	-	-	-	91
+ Cl <sub>180</sub>	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 <sup>1</sup>	-	7114 c	-	34.1 a	-	6925 c	-
+ K <sub>120</sub>	13.7 b	44.4	9162 a	28.8	17.1 b	50.0	8544 a	23.4
+ K <sub>240</sub>	12.4 b	49.6	8546 b	20.1	12.3 b	63.8	7839 ab	13.2
+ K <sub>120</sub> Cl <sub>90</sub>	10.8 b	55.9	8615 ab	21.1	13.8 b	59.7	8164 a	17.9
+ K <sub>240</sub> Cl <sub>180</sub>	9.9 b	59.8	9050 ab	27.2	12.4 b	63.6	8252 a	19.2
+ Cl <sub>90</sub>	17.1 ab	30.3	7373 c	3.6	31.8 a	6.8	6340 c	-8.5
+ Cl <sub>180</sub>	17.3 ab	29.8	7166 c	0.7	30.4 a	10.8	6509 c	-6.0

<sup>1</sup>Одинаковые 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<sub>3</sub>) от 120 до 240 кг K<sub>2</sub>O/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<sub>3</sub> в дозе 120 кг K<sub>2</sub>O/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<sub>2</sub>O/га представляется наиболее оптимальной, а 240 кг K<sub>2</sub>O/га – избыточной. При внесении хлористого калия в дозе по калию 120 кг K<sub>2</sub>O/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 сои<sup>2</sup> – 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



# Влияние калийного питания на качество фруктов и овощей: краткий обзор литературы

Джин Е. Лестер, Джон Л. Джифон, Доналд Дж. Макус

*Из всех элементов минерального питания растений калий выделяется как катион, оказывающий сильнейшее влияние на показатели качества, которые определяют товарные свойства сельхозпродукции, содержание в ней полезных для здоровья человека питательных веществ и, соответственно, предпочтения потребителей. Однако, многие факторы, связанные с конкретными условиями сельскохозяйственного производства (культура, почва, окружающая среда), часто лимитируют поглощение калия из почвы в количествах, достаточных для удовлетворения потребности развивающихся плодов в калии и достижения оптимальных значений вышеупомянутых показателей качества. Это было подтверждено в опубликованной в 2007 г. работе (Lester et al., 2007), в которой показано, что внекорневая подкормка калийным удобрением заметно улучшала некоторые показатели качества плодов дыни-канталупы, несмотря на высокое содержание обменного калия в почве. В настоящей статье обобщаются ранее опубликованные результаты работ, выполненных в долине Рио-Гранде в штате Техас (Rio Grande Valley of Texas), и дается анализ опубликованных исследований по изучению эффективности калийных удобрений при внесении в почву и внекорневых подкормках на некоторые показатели качества плодов и овощей, включая содержание в них питательных веществ.*

**К**алий - один из необходимых элементов минерального питания растений, который оказывает значительное влияние на содержание в плодах и овощах полезных для здоровья человека питательных веществ, определяющее качество плодов и овощей. (Usherwood, 1985). Хотя калий не входит в состав каких-либо органических молекул или растительных структур, он участвует во многих биохимических и физиологических процессах, жизненно важных для нормального роста и развития растений, формирования урожая и качества продукции, а также устойчивости растений к стрессу (Marschner, 1995; Sakmak, 2005). Кроме регулирования работы устьиц в процессах транспирации и фотосинтеза, калий также участвует в реакциях фотосинтетического фосфорилирования, транспорте продуктов фотосинтеза из листьев по флоэме к запасующим органам, активизирует работу ферментов, поддерживает тургор, а также повышает устойчивость растений к стрессу (Usherwood, 1985; Doman and Geiger, 1979; Marschner, 1995; Pettigrew, 2008). Оптимальное калийное питание овощных и плодовых культур способствует росту урожайности, увеличению размера плодов и содержания в них растворимых сухих веществ и аскорбиновой кислоты, улучшению цвета, а так же удлиняет срок хранения и повышает сохранность плодов при транспортировке (Geraldson, 1985; Lester et al., 2005, 2006, 2007; Kanai et al., 2007).

Хотя валовое содержание калия во многих почвах высокое, большая часть калия в почве может быть недоступна для растений. Это происходит отчасти потому, что запасы доступных для растений форм калия, существенно ниже, чем валовые запасы калия в почве. Калий существует в почве в различных формах, включая калий минерального скелета (90–98% от валовых запасов K), необменный калий, обменный калий и калий почвенного раствора ( $K^+$  ионы). Однако растения могут непосредственно поглощать только калий почвенного раствора (Tisdale et al., 1985). Поглощение калия растениями, в свою очередь, зависит от многих факторов - особенностей культуры, а также факторов

окружающей среды (Tisdale et al., 1985; Marschner, 1995; Brady and Weil, 1999). Например, оптимальная влажность почвы способствует диффузии ионов калия к корням растений, на долю которой приходится обычно более 75% от общей миграции почвенного калия. Массопоток, который тоже вносит некоторый вклад в миграцию калия в почве, также требует достаточного содержания почвенной влаги. Скогли и Хаби (Skogley and Naby, 1981) обнаружили, что повышение влажности почвы с 10 до 28% приводило к увеличению общей миграции калия более чем вдвое. Поэтому недостаток почвенной влаги может ограничивать миграцию калия в почве, а также его поглощение растениями, и, таким образом, приводит к дефициту калия у растений.

Свойства почвы также сильно влияют на доступность калия растениям. Например, глинистые почвы могут иметь высокую K-фиксирующую способность и, следовательно, отзывчивость растений на внесение калийных удобрений на таких почвах может быть низкой, потому что большая часть доступного калия быстро связывается глинистыми минералами (Tisdale et al., 1985; Brady and Weil, 1999). Таким образом, фиксация калия почвой может способствовать снижению его потерь от вымывания и создавать запас почвенного калия, который может быть использован последующими культурами в долгосрочной перспективе. С другой стороны, песчаные почвы обычно имеют низкую калийснабжающую способность из-за низкой емкости





**Таблица 1.** Обзор публикаций по влиянию калия на показатели качества плодов в зависимости от культуры, способа внесения и вида калийного удобрения

Культура	Способ внесения	Вид удобрения <sup>а</sup>	Показатели качества, которые улучшались <sup>б</sup>	Источник <sup>в</sup>
Яблоня ( <i>Malus X domestica</i> )	в почву	KCl	цвет, твердость, сахаристость	Nava (2009)
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	размер, цвет, твердость, сахаристость	El-Gazzar (2000)
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	урожайность, твердость, сахаристость	Attala (1998)
Яблоня	внекорневое	неизвестна	размер, цвет, твердость, сахаристость	Wojcik (2005)
		KCl	без изменений	Hassanloui (2004)
Банан ( <i>Musa sp.</i> )	в почву	неизвестна	качество	Naresh (1999)
		KCl	размер, сахаристость, содержание кислот	Suresh (2002)
Апельсин ( <i>Citrus sinensis</i> )	внекорневое	KCl, KNO <sub>3</sub>	без изменений	Haggag (1990)
		неизвестна	урожайность, качество	Dutta (2003)
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	качество	Shawky (2000)
Мандарин ( <i>Citrus reticulata</i> )	в почву	неизвестна	урожайность, качество	Lin (2006)
		неизвестна	лежкость, качество	Srivastava (2001)
Мандарин ( <i>Citrus reticulata</i> )	внекорневое	KCl > KNO <sub>3</sub>	толщина кожицы, качество	Gill (2005)
Огурец ( <i>Cucumis sativus</i> )	в почву	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> > KCl	содержание аминокислот, «качество»	Guo (2004)
		KCl	без изменений	Umamaheswarappa (2004)
Огурец	внекорневое	KCl > KNO <sub>3</sub>	устойчивость к болезням, «качество»	Magen (2003)
Виноград ( <i>Vitis vinifera</i> )	в почву	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	вкусовые качества, «качество»	Sipiora (2005)
Гуава ( <i>Psidium guajava</i> )	в почву	неизвестна	урожайность, вес, «качество»	Ke (1997)
Гуава	внекорневое	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> > KCl	кислотность, качество	Dutta (2004)
Киви ( <i>Actinidia deliciosa</i> )	в почву	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> > KCl	твердость, содержание кислот, сорт продукции	He (2002)
Личи ( <i>Litchi chinensis</i> )	внекорневое	KNO <sub>3</sub>	вес, урожайность	Ashok (2004)
Манго ( <i>Mangifera indica</i> )	в почву	KNO <sub>3</sub>	без изменений	Simoes (2001)
Манго	внекорневое	KNO <sub>3</sub>	нет эффекта	Rebolledo-Martinez (2008)
		неизвестна	структура, аромат, цвет, лежкость	Shinde (2006)
Мускусная дыня ( <i>Cucumis melo</i> )	в почву	неизвестна	урожайность	Demiral (2005)
Мускусная дыня	внекорневое	Хелатный комплекс К с глицином	твердость, содержание витаминов	Lester (2005)
		Хелатный комплекс К с глицином > KCl	твердость, сахаристость, содержание витаминов	Lester (2006)
		Хелатный комплекс К с глицином = K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> > KCl > KNO <sub>3</sub>	твердость, содержание витаминов, сахаристость, урожайность, товарные качества	Jifon (2009)
Нектарин ( <i>Prunus persica</i> )	в почву	неизвестна	твердость, лежкость, устойчивость к растрескиванию	Zhang (2008)
Окра ( <i>Abelmoschus esculentus</i> )	внекорневое	нафтенат К	содержание хлорофилла, протеина, каротина	Jahan (1991)
Маракуйя ( <i>Passiflora edulis</i> )	гидропоника	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	урожайность, число семян, «качество»	Costa-Araujo (2006)
Папайя ( <i>Carica papaya</i> )	в почву	неизвестна	«качество», вес, сахаристость	Ghosh (2007)
Груша ( <i>Pyrus communis</i> )	в почву	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	без изменений	Johnson (1998)
Фалса ( <i>Grewia subinaequalis</i> )	внекорневое	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	размер, вес, «качество»	Singh (1993)
Стручковый перец ( <i>Capsicum annuum</i> )	в почву	KCl	почти без изменений	Hochmuth (1994)
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	жгучесть, качество	Ananthi (2004)
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> > KNO <sub>3</sub>	жгучесть, урожайность, вес	Golcz (2004)
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	«качество»	El-Masry (2000)
Стручковый перец	гидропоника	KNO <sub>3</sub>	без изменений	Flores (2004)
Ананас ( <i>Ananas comosus</i> )	в почву	KCl	содержание витамина С, устойчивость к внутреннему побурению	Herath (2000)
Гранат ( <i>Punica granatum</i> )	внекорневое	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> > KCl	рост, урожайность, «качество»	Muthumanickam (1999)

**Таблица 1.** Обзор публикаций по влиянию калия на показатели качества плодов в зависимости от культуры, способа внесения и вида калийного удобрения (продолжение)

Культура	Способ внесения	Вид удобрения <sup>а</sup>	Показатели качества, которые улучшались <sup>б</sup>	Источник <sup>в</sup>
Клубника ( <i>Fragaria X ananassa</i> )	в почву	KCl	без изменений	Albregts (1996)
	фертигация	KCl >KNO <sub>3</sub>	«качество»	Ibrahim (2004)
Клубника	гидропоника	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	урожайность, общее качество	Khayyat (2007)
Томат ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	в почву	KCl	ликопин	Taber (2008)
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	«качество»	Si (2007)
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	урожай, скороспелость, «качество»	Hewedy (2000)
Томат	фертигация/гидропоника	KCl >KNO <sub>3</sub>	внешний вид, «качество»	Chapagain (2003)
		KCl >KNO <sub>3</sub>	урожайность, «качество»	Chapagain (2004)
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	содержание каротиноидов витамина E	Fanasca (2006)
		неизвестна	содержание антиоксидантов	Li (2006)
		неизвестна	содержание ликопина, «качество»	Yang (2005)
Томат	внекорневое	неизвестна	рост, содержание протеина, витамина C и кислот, сахаристость	Li (2008)
Листовые овощи	в почву	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> > KCl	содержание сухих веществ и витамина C	Ni (2001)
Арбуз ( <i>Citrullus lanatus</i> )	в почву	KCl	без изменений	Locascio (2002)
		KCl	без изменений	Perkins-Veazie (2003)

<sup>а</sup> По своему действию формы удобрений расположены по убыванию (разделены знаком >).

<sup>б</sup> Слово «качество» означает, что авторы не указали конкретных показателей или их было слишком много.

<sup>в</sup> Для краткости указан только первый автор.

катионного обмена.

Карбонатные почвы обычно имеют высокое содержание ионов кальция (Ca<sup>2+</sup>), которые преобладают на поверхности глинистых минералов и других обменных позициях почвенного поглощающего комплекса (ППК). Хотя это может ограничивать сорбцию калия и повышать его содержание в почвенном растворе, высокие концентрации других катионов, особенно Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>, препятствуют поглощению калия корнями растений из-за конкуренции за обменные центры на поверхности корней, связывающие ионы из почвенного раствора. Следовательно, у сельскохозяйственных культур, выращиваемых на карбонатных почвах, признаки недостатка калия могут проявляться даже в том случае, когда результаты почвенных анализов свидетельствуют о достаточной обеспеченности почвы доступным калием (Navlin et al., 1999).

Поглощение калия также зависит от биологических факторов – генетических особенностей возделываемой культуры и стадии развития (фаза вегетативного роста по сравнению с репродуктивной; Rengel et al., 2008). У многих плодоносящих видов поглощение калия происходит, главным образом, в фазу вегетативного роста, когда большие запасы углеводов доступны для процессов роста корней и поглощения. Конкуренция за продукты фотосинтеза между развивающимися плодами и вегетативными органами в репродуктивную фазу может ограничивать рост и активность корней, а также поглощение калия из почвы. В таких условиях внесение калийного удобрения в почву может оказаться недостаточной мерой для коррекции дефицита калия у растений, вызванного их интенсивным развитием, в том числе из-за снижения роста и активности корней во время репродуктивного развития, а также из-за конкуренции других катионов за обменные центры на корнях, связывающие ионы из почвенного раствора

(Marschner, 1995).

В работе, опубликованной в журнале *Better crops with Plant Food* и других журналах (Lester et al., 2005, 2006, 2007), показано, что внекорневая подкормка калийными удобрениями улучшала как товарные качества мускусной дыни, повышая ее твердость и сахаристость, так и важные для здоровья человека показатели качества продукции, увеличивая содержание аскорбиновой кислоты и бета-каротина. При этом повышалось и содержание обменного K в почве, которое соответствовало высокому уровню обеспеченности растений. Тем не менее, опубликованные в литературе данные о действии калийных удобрений на качество плодоовощной продукции противоречивы из-за того, что и почвенное, и внекорневое внесение разных форм калийных удобрений изучались в разных почвенно-климатических условиях (сезонах) при разных сроках и кратности внесения. В настоящем обзоре обобщены результаты опубликованных работ по действию калийных удобрений на качество продукции ряда плодовых, ягодных, овощных и бахчевых культур. При этом особое внимание уделяется сравнению эффективности разных видов калийных удобрений, а также способов их внесения (внесение в почву, внекорневые подкормки).

### Сравнение эффективности различных видов калийных удобрений

Хотя опубликовано много работ, в которых описаны примеры положительного эффекта от применения калийных удобрений на устойчивость растений к болезням, а также урожайность, вес, твердость, сахаристость, вкусовые качества, лежкость плодов и содержание биологически активных полезных для человека веществ в плодах, противоположные примеры тоже описаны в научной литературе (табл. 1). Эти



Д-р Лестер проверяет растения мускусной дыни в вегетационном опыте в теплице. Точная настройка режима питания растений - важное условие для повышения качества плодов (вставка)

противоречивые результаты нельзя не принимать во внимание, однако их можно объяснить различиями в способе внесения калийных удобрений (например, внесение в почву в сравнении с внекорневыми подкормками, фертигацией или гидропоникой) и особенностями действия разных видов калийных удобрений (например,  $KCl$ ,  $K_2SO_4$ ,  $KNO_3$ , хелатный комплекс калия с глицином).

Обзор публикаций, охватывающих последние 20 лет, представлен в **табл. 1**. Результаты подавляющего большинства рассматриваемых исследований показали, что внесение калийных удобрений оказывает положительное влияние на некоторые показатели качества плодов. Однако восемь работ, включая изучение действия калийных удобрений на качество яблок (Hassanloui, et al., 2004), огурцов, (Umamaheswarappa and Krishnappa, 2004), манго (Rebolledo-Martinez et al., 2008), груш (Johnson et al., 1998), сладкого перца (Hochmuth et al., 1994), клубники (Albregts et al., 1996) и арбузов (Locascio and Hochmuth, 2002; Perkins-Veazie et al., 2003), отличаются своими выводами. Эти авторы не обнаружили никаких или почти никаких изменений (т.е. улучшений) в качестве плодов при применении калийных удобрений. Интересно, что, за исключением исследований на деревьях яблони, общим для всех вышеуказанных работ является прямое внесение калийных удобрений в почву и часто скудная информация о сроках их внесения, а также физических и химических свойствах почвы. Однако эти факторы могут влиять на доступность элементов питания в почве и их поглощение растениями, а внесение калийных удобрений в почву в некоторых условиях может не влиять или оказывать незначительное влияние на поглощение калия, а также урожайность и качество плодов (Tisdale et al., 1985; Brady and Weil, 1999).

В ряде работ (например, исследования качества огурцов, манго и мускусной дыни) по сравнению внесения в почву и внекорневых подкормок калийными удобрениями показано, что последний способ привел к достоверному улучшению показателей качества плодов. В то же время внесение удобрений в почву

обычно имело незначительный эффект или вообще не оказывало никакого влияния на качество продукции (табл. 1) (Demiral and Koseoglu, 2005; Lester et al., 2005, 2006; Jifon and Lester, 2009).

Более того, в работах, в которых изучалось действие различных видов калийных удобрений, положительный эффект зависел от вида удобрения. Например, Джифон и Лестер (Jifon and Lester, 2009) показали, что внесение в почву или внекорневые подкормки нитратом калия ( $KNO_3$ ) во второй половине вегетации слабо влияют или вообще не оказывают никакого положительного эффекта на товарный вид плодов и содержание в них полезных для человека питательных веществ. В некоторых случаях эти показатели были фактически хуже при внесении  $KNO_3$  по сравнению с контрольными деланками опытов.

Настоящая статья показывает, что при рассмотрении вопроса о внесении калийных удобрений специалист-практик должен осознавать, что данных только почвенного анализа может быть недостаточно чтобы принять наиболее адекватное решение. Результаты почвенного анализа, разумеется, имеют важное значение и полезны при принятии решений, однако необходимо также учитывать и другие факторы: динамику потребности растений в калии, вид калийных удобрений и сроки внесения. Высокое содержание доступного для растений калия в почве не всегда гарантирует, что растения не будут отзывчивы на внесение калийных удобрений. Более того, в случае высокой потребности в калии во время формирования плодов внекорневая калийная подкормка может улучшить некоторые показатели качества плодов.

*Д-р Лестер (gene.lester@ars.usda.gov) и д-р Макус - сотрудники Субтропического центра сельскохозяйственных исследований департамента сельскохозяйственных исследований Министерства сельского хозяйства США (USDAARS), Kika de la Garza, 2413 East Business Highway 83, Building 200, Weslaco, Texas 78596 USA. Д-р Джифон - сотрудник Исследовательского центра селекции плодовых и овощных культур «Агри-Лайф» в Техасе, «Texas A&M Систем», 2415 East Business Highway 83, Weslaco, Texas 78596 USA.*



## Литература

- Albregts, E.E., G.J. Hochmuth, C.K. Chandler, J. Cornell, and J. Harrison. 1996. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121: 164-168.
- Ananthi, S., D. Veeraragavathatham, K. Srinivasan. 2004. *South Indian Hort.* 52: 152-157.
- Ashok, K. and K. Ganesh. 2004. *Adv. Plant Sci.* 17: 519-523
- Attala, E.S. 1998. *Egyptian J. Agric. Res.* 76:709-719.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 1999. *The Nature and Properties of Soils.* 9th Edition. Macmillan Publishing Company, New York. 750 p.
- Cakmak, I. 2005. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168:521-530
- Chapagain, B.P. and Z. Wiesman. 2004. *Sci. Hort.* 102:177-188
- Chapagain, B.P. and Z. Wiesman. 2003. *Sci Hort.* 99: 279-288
- Chapagain, B.P., Z. Wiesman, M. Zaccai, P. Imas, and H. Magen. 2003. *J. Plant Nutr.* 26: 643-658.
- Cooke, D.L. and D.T. Clarkson. 1992. Plenum Press, N.Y. pp 75-208
- Costa-Araujo, R., C.H. Bruckner, H.E. Prieto-Martinez, L.C. Chamhum-Salomao, V.H. Alvarez, A. Pereira de-Souza, W.E. Pereira, and S. Hizumi. 2006. *Fruits.* 61:109-115
- Demiral, M.A. and A.T. Koseoglu. 2005. *J. Plant Nutr.* 28: 93-100
- Doman, D.C. and D.R. Geiger. 1979. *Plant Physiol.* 64:528-533.
- Dutta, P. 2004. *Orissa J. Hort.* 32: 103-104.
- Dutta, P., A.K. Chakroborty, and P.K. Chakroborty. 2003. *Ann. Agric. Res.* 24:786-788
- El-Gazzar, A.A.M. 2000. *Ann. Agric. Sci., Cairo.* 3(Special):1153-1160
- El-Masry, T.A. 2000. *Ann. Agric. Sci., Moshtohor.* 38:1147-1157
- Fanasca, S., G. Colla, Y. Rouphael, F. Saccardo, G. Maiani, E. Venneria, and E. Azzini. 2006. *HortScience.* 41:1584-1588
- Flores, P., J.M. Navarro, C. Garrido, J.S. Rubio, and V. Martinez. 2004. *J. Sci. Food Agric.* 84: 571-576.
- Geraldson, C.M. 1985. Potassium nutrition of vegetable crops. In Munson, R.D. (ed) *Potassium in Agriculture.* ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. pp 915- 927.
- Ghosh, S.N. and R.K. Tarai. 2007. *Indian J. Fert.* 3:47-49.
- Gill, P.S., S.N. Singh, and A.S. Dhatt. 2005. *Indian J. Hortic.* 62:282-284
- Golcz, A., P. Kujawski, and B. Politycka. 2004. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Agricultura.* (95):109-113.
- Guo, X.S., S.Y. Ye, W.J. Wang, H.B. Zhu, J. Xu, and L.S. Wu. 2004. *Plant Nutr. Fertilizer-Sci.* 10:292-297.
- Haggag, M.N. 1990. *Alexandria J. Agril. Res.* 1988. 33:157-167.
- Hassanloui M.R.D., M. Taheri, and M.J. Malakouti. 2004. *J. Agric. Eng. Res.* 5:71-84.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers.* 6th Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. 499 p.
- He, Z.J., G.L. Zhang, G.W. Zhang, L. Ma, and Y. Tong. 2002. *J. Fruit Sci.* 2002 19:163-166.
- Herath, H.M.I., D.C. Bandara, and D.M.G.A. Banda. 2000. *Trop. Agric. Res.* 12:352-359.
- Hewedy, A.M. 2000. *Egyptian J. Agric. Res.* 78:227-244.
- Hochmuth, G., K. Shuler, E. Hanlon, and N. Roe. 1994. *Proc. Florida State Hort. Soc.* 107:132-139.
- Ibrahim, A., T. Abdel-Latif, and S. Gawish, and A. Elnagar. 2004. *Arab Universities J. Agric. Sci.* 12:469-48.
- Jifon, J.L. and G.E. Lester. 2009. *J. Sci. Food Agric.* 89:2452-2460.
- Jahan, N., Q.A. Fattah, and M.A. Salam. 1991. *Bangladesh J. Bot.* 20:163-168.
- Johnson, D.S., T.J. Samuelson, K. Pearson, and J. Taylor. 1998. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 73:151-157.
- Kanai, S., K. Ohkura, J.J. Adu-Gyamfi, P.K. Mohapatra, N.T. Nguyen, H. Saneoka, and K. Fujita. 2007. *J. Exp. Bot.* 58:2917-2928.
- Ke, L.S. and W.D. Wang. 1997. *J. Agric. Assoc. China.* 179:15-29.
- Khayyat, M., E. Tafazoli, S. Eshghi, M. Rahemi, and S. Rajae. 2007. *Amer. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 2:539-544.
- Lester, G.E., J.L. Jifon, and W.M. Stewart. 2007. *Better Crops.* 91:(1)24-25.
- Lester, G.E., J.L. Jifon, and D.J. Makus. 2006. *HortScience.* 41:741-744.
- Lester, G.E., J.L. Jifon, and G. Rogers. 2005. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130:649-653.
- Lester, G.E., Arias L. Saucedo, and Lim M. Gomez Lim. 2001. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126:33-36.
- Li, R.H., D.B. Xu, and Q.W. Huang. 2008. *China Vegetables.* 6:17-20.
- Li, S., Y. Xu, W.S. White, S. Rodermel, and H. Taber. 2006. *FASEB J.* 20(5, Part 2):A1059.
- Lin, X.Y, Y.S. Zhang, M.Z. Cai, Y.P. Zhang, G. Li, and X.E. Yang. 2006. *Plant Nutr. Fertil. Sci.* 12:82-88.
- Locascio, S.J. and G.J. Hochmuth. 2002. *HortScience.* 37:322-324.
- Magen, H., P. Imas, Y. Ankorion, and A. Ronen. 2003. *Proc. Int. Fertil. Soc.* (524):13-24.
- Marschner, H. 1995. *Functions of Mineral Nutrients: Macronutrients,* p. 299-312.
- In: H. Marschner (ed.). *Mineral Nutrition of Higher Plants,* 2nd Edition. Academic Press, N.Y.
- Muthumanickam, D. and G. Balakrishnamoorthy. 1999. *South Indian Hort.* 47:152-154.
- Naresh, B. 1999. *Bioved.* 10:39-42
- Nava, G., A. Roque-Dechen, and G. Ribeiro-Nachtiga. 2008. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39:96-107.
- Ni, W.Z., J.S. Liang, and R. Hardter. 2001. *Pedosphere.* 11:251-255.
- Perkins-Veazie, P., W. Roberts, and K. Perez. 2003. *Hortscience.* 38:816-817.
- Pettigrew, W.T. 2008. *Physiol. Plant.* 133:670-681.
- Rebolledo-Martinez, A., A. Lid-del-Angel-Perez, and J. Rey-Moreno. 2008. *Interiencia.* 33:518-522.
- Rengel, Z., P.M. Damon, and I. Cakmak. 2008. *Physiologia Plantarum* 133:624-636.
- Shawky, I., A. Montasser, M. Nageib, L. Haggag, and M. Abd-El-Migeed. 2000.
- Effect of fertilization with potassium and some micronutrients on Navel orange trees. II - Effect on yield, fruit quality and juice mineral content.* In El-Sawy M, Francis RR, El-Borollosy MA, Hosni AM (ed) *Annals Agric Sci Cairo.* 3(Special): 1215-1226.
- Shinde, A.K., D.J. Dabke, B.B. Jadhav, M.P. Kandalkar, and M.M. Burondkar. 2006. *Indian J. Agric. Sci.* 76:213-217.
- Si, S.K.G., M. Bellal, and F. Halladj. 2007. *Acta Hort.* (758):269-274.
- Simoës, Ado-N, J.B. Menezes, S.E.V.D. Lima, J.F. Medeiros, G.F. Silva, D.F. Freitas. 2001. *Caatinga.* 14:31-35.
- Singh, H.K., K.S. Chauhan, and B.P. Singh. 1993. *Haryana J. Hort. Sci.* 22:276-279.
- Sipiora, M.J., M.M. Anderson, and M.A. Matthews. 2005. *Proc. Soil Environ. Vine Mineral Nutr. Symp. San Diego, CA, 29-30-June, 2004.* pp 185-192.
- Skogley, E.O. and V.A. Haby. 1981. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:533-536.
- Srivastava, A.K., A.D. Huchche, R. Lallan, and S. Shyam. 2001. *J. Potassium Res.* 17:93-97.
- Suresh C.P. and M.A. Hasan. 2002. *Res. Crops.* 3:398-402.
- Taber, H., P. Perkins-Veazie, S.S. Li, W. White, S. Rodermel, and Y. Xu. 2008. *HortScience.* 43:159-165.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985. *Soil and Fertilizer Potassium.* Ch. 7 in S.L. Tisdale, W.L. Nelson, and J.D. Beaton (eds). *Soil Fertility and Fertilizers,* 4th ed. Macmillan, New York. 249-291.
- Umamaheswarappa, P. and K.S. Krishnappa. 2004. *Trop. Sci.* 44:174-176.
- Usherwood, N.R. 1985. *The role of potassium in crop quality.* In Munson, R.D. (ed). *Potassium in Agriculture* ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. pp 489-513.

## Как оптимизация калийного питания растений помогает подавить развитие соевой тли

Т. Бруулсема, К. Ди Фонзо и К. Граттон

*Соевая тля стала наиболее опасным насекомым-вредителем на Северо-Востоке и Среднем Западе Северной Америки. Зачастую она сильнее повреждает растения сои, которые испытывают недостаток калия, по сравнению с растениями, достаточно обеспеченными этим элементом питания. Недавние исследования в американских штатах Висконсин и Мичиган показали, что в ряде случаев, но не всегда, испытывающие недостаток калия растения сои больше страдают от повреждения тлей в сравнении с растениями, достаточно обеспеченными калием. Причиной этого могут быть различия в аминокислотном составе флоэчного сока растений.*

Соевая тля (*Aphis glycines Matsumura*) – инвазивный вид насекомых, выявленный в США в 2000 г. Осмотр полей и наблюдения в штатах Висконсин и Мичиган (США) показали, что на многих полях из числа наиболее сильно зараженных соевой тлей у растений сои проявлялись также внешние признаки недостатка калия. В данной статье обобщены результаты недавних исследований по изучению взаимосвязей между уровнем калийного питания сои и интенсивностью заселения растений тлей. Целью исследований было установить, как оптимизация минерального питания растений помогает в борьбе с этим вредителем.

### Штат Висконсин, 2001-2002 гг.

В мелкоделяночном полевом опыте с внесением калийного удобрения в разных дозах содержание калия в листьях сои и урожайность повышались с ростом содержания подвижного калия в почве (табл. 1), но статистически значимых различий в численности тли между вариантами опыта выявлено не было (Myers et al., 2005). Проводившиеся опрыскивания инсектицидом снижали численность тли и повышали урожайность сои, но статистически значимого взаимного влияния обработок инсектицидом и питания растений калием на данные показатели выявлено не было.



Увеличенная фотография тли (*Aphis glycines Matsumura*).  
Фото К. Граттона

При этом численность тли и в первый, и во второй год указанного опыта была очень высокой – существенно выше, чем на полях фермеров. Например, в 2002 г. пиковая численность тли на необработанных инсектицидом делянках превысила 1600 особей/растение, а средняя пиковая численность данного вредителя, выявленная при обследовании полей сои в южной части штата Висконсин, составила 280 особей/растение. Возможно, из-за близкого расположения (<0.9 м) и небольшого размера делянок (3.0 x 7.0 м) растения, испытывавшие сильный недостаток калия, привлекали и служили источником пищи для больших популяций тли, что приводило к колонизации и достаточно обеспеченных калием растений. Таким образом, примененная разбивка делянок в данном полевом опыте могла помешать выявить взаимосвязи, которые, по-видимому, существуют в масштабах всего поля.

### Штат Висконсин, 2003 г.

В 2003 г. в специальном лабораторном опыте была изучена плодовитость тли при питании на листьях сои, отобранных на опытном поле в Арлингтоне (штат Висконсин) со здоровых растений и растений с внешними признаками недостатка ка-

**Таблица 1.** Повышение содержания калия в листьях и урожайности сои с ростом содержания подвижного калия в почве: полевой опыт в Арлингтоне, штат Висконсин (среднее за 2001 и 2002 годы; адаптировано из Myers et al., 2005).

Подвижный калий <sup>1</sup> , мг К/кг почвы	Содержание калия в листьях, %	Урожай зерна сои, т/га	
		С обработками инсектицидом	Без обработок инсектицидом
60	0.76	2.22	1.75
93	1.20	3.16	2.55
114	1.43	3.49	2.76

<sup>1</sup>Для определения содержания подвижного калия в почве в штате Висконсин используется метод «Брей-1» ( $0.03 M NH_4F + 0.025 M HCl$ ). Значения ниже 80 и выше 100 считаются, соответственно, низкими и высокими.



Лист сои при недостатке калия (слева) и здоровый лист. Лист сои, заселенный тлей.

лия. Количество личинок, приходящихся на одну взрослую особь, и скорость роста популяции были существенно выше при питании тли на листьях сои с низким содержанием калия (табл. 2). Подобное действие калия свидетельствует о том, что его недостаток у растений сои потенциально способствует более высокой скорости роста популяции тли. Однако в контролируемых лабораторных условиях исключается действие такого фактора, как естественные враги тли (хищники и паразиты), которые существуют в полевых условиях.

Механизм действия калия в вышеуказанном опыте не изучался, но, как отмечают другие исследователи, пищевой рацион тли формируется за счет растворимых аминокислот, а недостаток калия может вызывать увеличение концентрации этих аминокислот в растительных тканях.

### Штат Висконсин, 2004 г.

В штате Висконсин в 2004 г., когда натиск вредителей был несильным, был проведен мониторинг численности соевой тли в производственных посевах (34 поля) при диапазоне содержания подвижного калия в почве от 80 до 200 мг К/кг почвы и выше (Myers and Gratton, 2006). Встречались и поля с почвами песчаного гранулометрического состава, а для них критическое содержание подвижного калия (верхний предел “низкого” класса обеспеченности) составляет уже 60 мг К/кг почвы. Скорость роста популяции тли на полях с песчаными почвами отрицательно коррелировала с содержанием подвижных форм К и Р в почве, а также с содержанием К, N, P

и S в листьях растений. Однако пиковая плотность заселения растений тлей положительно коррелировала со всеми вышеуказанными почвенными и растительными показателями.

Проведенный в том же году полевой опыт по изучению действия разных уровней калийного питания на развитие тли показал, что при среднем классе обеспеченности почвы подвижным калием и выше снижалась скорость репродукции тли, замедлялась скорость роста популяции и уменьшалась пиковая численность естественной популяции тли (табл. 3). К листьям растений, незаселенных тлей, с помощью зажимов прикреплялись маленькие садки, что позволило в полевых условиях изучить численность потомства одной особи тли. Тля помещалась на лист сои в небольшое ограниченное пространство, изолированное от других тлей и защищенное от хищников.

Неясны причины того, почему в 2001 и 2002 гг. численность тли не снизилась при более высоком содержании подвижного калия в почве (табл. 1), как это произошло в 2004 г (табл. 3). Данное обстоятельство может быть связано с меньшим натиском вредителей в 2004 г., что и позволило выявить влияние минерального питания растений на развитие тли. Высокая же численность тли, наблюдавшаяся в 2001-2002 гг., не дала этого сделать. При этом размер делянок в 2004 г. был таким же, как и в более ранних опытах.

### Штат Мичиган, 2003-2004 гг.

В юго-западной части штата Мичиган в середине августа 2003 и 2004 годов были обследованы производственные посевы сои (5-8 полей) с выявленными внешними признаками недостатка калия у растений (Walter and DiFonzo, 2007). В пределах каждого поля выделялось 2 участка: один выбирался в центре области с внешними признаками сильного недостатка калия у растений, а другой – в ближайшей части поля, где растения не проявляли признаков недостатка калия. На каждом из этих участков отбирались образцы почвы, проводился сбор флоэмного сока растений, а также определялась численность

**Таблица 2.** Ускоренное размножение тли на листьях сои с низким содержанием калия: лабораторный опыт, 2003 г. (адаптировано из Myers et al., 2005).

Подвижный калий, мг К/кг почвы	Содержание калия в листьях, %	Содержание калия в соке черешков листьев, мг К/кг	Плодовитость тли: количество личинок на одну взрослую особь, шт.	Скорость роста популяции тли
60	0.55	1000	68	0.48
160	1.68	2493	49	0.42

**Таблица 3.** Повышение содержания калия в листьях сои, снижение заселенности растений тлей и рост урожайности сои в результате увеличения содержания подвижного калия в почве до 113 и 142 мг К/кг почвы при внесении хлористого калия: полевой опыт в Арлингтоне, штат Висконсин, 2004 г. (адаптировано из Myers and Gratton, 2006).

Подвижный калий, мг К/кг почвы	Содержание калия в листьях, %	Маленькие садки		Численность тли в естественных условиях, особей/растение		Урожай зерна сои, т/га
		Плодовитость тли: количество личинок на одну взрослую особь, шт.	Скорость роста популяции тли	19 августа	26 августа	
60	1.50	42	0.31	107	251	1.61
113	2.40	27	0.28	56	72	3.16
142	2.40	26	0.27	54	72	3.09

**Таблица 4.** Повышенная численность естественной популяции тли на участках полей с выраженным недостатком калия у растений в первый год обследования: двухлетнее обследование полей в штате Мичиган, 2003 и 2004 годы (Walter and DiFonzo, 2007).

Наличие внешних признаков недостатка калия у растений на выделенных участках полей	2003		2004	
	Обменный калий <sup>1</sup> , мг К/кг почвы	Численность тли, особей/лист	Обменный калий, мг К/кг почвы	Численность тли, особей/лист
+	15-65	174	28-83	3
-	22-83	103	38-83	3

<sup>1</sup>Обменный калий, извлекаемый 1 М  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ . Значения ниже 75 и выше 100 считаются, соответственно, низкими и высокими.

**Таблица 5.** Развитие популяций тли: полевой опыт в округе Ван-Бюрен, штат Мичиган, 2004 г. (Walter and DiFonzo, 2007).

Доза $\text{K}_2\text{O}$ , кг/га	Маленькие садки		Большие садки	
	14 июля		30 июня	15 июля
	Возраст тли при появлении первого поколения личинок, дней	Количество личинок на одну взрослую особь, шт.	Численность тли, особей/растение	
0	8.8	88	703	6858
157	11.0	71	233	2315

тли. И в первый, и во второй год обследований содержание обменного калия в почве было ниже на тех участках полей, где у растений сои проявлялись внешние признаки недостатка калия. В 2003 г. произошла вспышка численности вредителя, и плотность заселения растений тлей была выше также на участках полей, где наблюдались внешние признаки недостатка калия у растений (табл. 4). Численность тли в 2004 г. была крайне низка для того, чтобы выявить различия в плотности заселения растений этим вредителем.

В округе Ван-Бюрен (штат Мичиган) в 2004 г. был проведен полевой опыт в производственных посевах сои с низким содержанием обменного калия в почве. Исходное содержание обменного калия в почве составило 67 мг К/кг почвы, что свидетельствует о недостаточной обеспеченности почвы калием. Критический уровень для данной почвы (с ЕКО, равной 8.6 мг-экв/100 г) составляет 96 мг К/кг почвы. В опыте было два варианта: без внесения и с внесением калийных удобрений в дозе 157 кг  $\text{K}_2\text{O}$ /га. Опыт проводился в 5-ти кратной повторности, площадь делянки составила 6.1 x 36.6 м. Для наблюдения за репродуктивной способностью тли использовались маленькие садки и большие полевые садки.



Маленький садок для изучения роста и развития отдельных особей тли.

Маленькие садки, где в небольшом ограниченном пространстве тля была защищена от хищников, прикреплялись к листьям сои с помощью зажимов (как указывалось выше). Данные садки применялись для изучения роста и численности потомства одной особи тли. Большие садки представляли собой куб со стороной 1 м, и ими накрывалось по 10 растений. Данные садки также защищали помещенных внутрь тлей от хищников, но, в отличие от мелких садков, позволяли улетать появляющимся крылатым (летающим) особям.

В маленьких садках, установленных в первый раз – 10-го июня, различий в репродуктивной способности тли между вариантами опыта выявлено не было. В аналогичных садках, установленных во второй раз – 14-го июля, личинки тли появлялись раньше и в больших количествах на растениях сои, не получавших калийного удобрения, по сравнению с удобренными калием растениями (табл. 5). В больших садках заселение тлей проводилось 28-го мая из расчета одна особь/растение. Начиная с 30-го июня, в больших садках наблюдалось статистически значимое увеличение численности тли в варианте без внесения калийного удобрения.

Во всех опытах, проводившихся в Мичигане в 2003 и 2004 годах, были проанализированы образцы флоэмного сока растений. При этом определялось соотношение 18-ти незаменимых аминокислот без измерения их общего содержания во флоэмном соке. Была установлена обратная корреляция между относительной долей аминокислоты аспарагина и содержанием обменного калия в почве, в то время как для других аминокислот подобных зависимостей выявлено не было. Таким образом, содержание аспарагина в растительном соке повышалось при снижении содержания обменного калия в почве: при содержании обменного калия, равном 120 мг К/кг почвы, на долю аспарагина приходилось 3-10% от суммы аминокислот, а при 20 мг К/кг почвы доля аспарагина возрастала до 8-20%.

Аспарагин может играть критическую роль в питании тли азотом, поскольку тля обладает ограниченной способностью усваивать азотсодержащие соединения. Вейбулл (Weibull, 1988) отмечал, что растительный сок наиболее устойчивых к тле



Большие садки (с защитой тли от хищников), которые были использованы для определения скорости роста популяции тли на растениях сои, испытывавших недостаток калия (в варианте без внесения калия в почву) и получивших калийное удобрение. Юго-запад штата Мичиган, июль 2003 г.

образцов овса и ячменя содержит относительно мало аспарагина. Как указывали Ричардс и Бернер (Richards and Berner, 1954), недостаток калия вызывает повышение содержания аспарагина в листьях ячменя. Баркер и Брэдфилд (Barker and Bradfield, 1963) сообщали, что увеличение концентрации калия в питательном растворе приводит к снижению содержания свободных аминокислот, особенно аспарагина, в молодых проростках кукурузы.

Считается, что тля получает весь свой рацион азота за счет аминокислот, транспортируемых с флоэмным соком растений. Как известно, в процессе пищеварения у тли не используются протеиназы, возможно потому, что во флоэмном соке обычно высоко содержание ингибиторов протеиназ и крайне низка концентрация белков. По этой причине растительные белки являются плохим источником азота для тли. По сообщению Годфрея и Хатчмахера (Godfrey and Hutchmacher, 1999), внесение калия под хлопчатник в штате Калифорния (США) в дозах от 112 до 224 кг  $K_2O$ /га оказывало “умеренное отрицательное влияние как на срок развития генерации тли, так и на ее плодовитость.” Таким образом, по мере усиления стресса, вызванного недостатком доступного калия в почве, растения реагируют выделением во флоэму большего количества свободных аминокислот, таких как аспарагин. Это делается для того, чтобы уравновесить осмотический дисбаланс в растениях. Тля же использует эти свободно перемещаемые и легкоусваиваемые азотсодержащие соединения с выгодой для себя – она быстрее развивается и дает больше потомства в расчете на одну самку. Это приводит к более быстрому росту численности тли и, в конечном итоге, к более высокой плотности заселения растений тлей, что увеличивает потери урожая.

## Выводы

С учетом содержания стандартно определяемых подвижных и доступных форм калия в почвах штатов Висконсин и Мичиган повышение численности тли на соевых полях наблюдалось только в тех случаях, когда содержание данных форм калия опускалось до минимальных значений, и было значительно

ниже уровней, рекомендованных при возделывании сои. Почвенное обследование, проведенное в 2005 г., показало, что медианные значения содержания обменного калия в вышеуказанных штатах составили, соответственно, 125 и 149 мг К/кг почвы. При этом доля почв с содержанием обменного калия ниже 80 мг К/кг почвы оценивалась примерно в 10-15%.

Хотя результаты, полученные в штатах Висконсин и Мичиган, и свидетельствуют о сильном влиянии на развитии соевой тли такого фактора, как питание растений сои калием, это отнюдь не означает, что достаточная обеспеченность растений этим элементом питания может гарантировать стопроцентную защиту от соевой тли. Численность тли контролируется еще и естественными врагами, такими как хищная коровка хармония (*Harmonia axyridis* Pall.), а также паразитами. Это примеры трофических факторов, подавляющее действие которых на тлей проявляется с разной силой в зависимости от условий конкретного года и региона, в сравнении с факторами, связанными с минеральным питанием растения-хозяина. Заселение растений тлей может происходить и при достаточном уровне калийного питания растений.

Тем не менее, предотвращение недостатка калия у растений – это, по крайней мере, одна из мер защиты от тли и страховка от потери урожая из-за повреждения этим потенциально опасным вредителем, которое к тому же является и переносчиком вирусных и грибных болезней растений. С практической точки зрения это означает, что при возделывании сои необходимо поддерживать плодородие почвы по калию на рекомендуемом уровне, поскольку это является составной частью интегрированной системы защиты растений от соевой тли.

Д-р Граттон – адъюнкт-профессор кафедры энтомологии Университета Висконсина (г. Мадисон, США).  
Д-р Ди Фонзо – профессор кафедры энтомологии Университета штата Мичиган (г. Ист-Лансинг, США).  
Д-р Бруулсема – Директор Международного института питания растений по Северо-Восточному региону Северной Америки (г. Гуэльф, провинция Онтарио, Канада); e-mail: tom.bruulseta@ipni.net.



## Литература

- Barker, A.V. and R. Bradfield. 1963. *Agron. J.* 55(5): 465-470
- Godfrey, L.D. and R. Hutchmacher. 1999. [http://www.cdffa.ca.gov/is/folders/completed\\_projects.html](http://www.cdffa.ca.gov/is/folders/completed_projects.html)
- Myers, S.W., C. Gratton, R.P. Wolkowski, D.B. Hogg, and J.L. Wedberg. 2005. *J. Econ. Entomol.* 98: 113-120.

- Myers, S.W. and C. Gratton. 2006. *Environ. Entomol.* 35: 219-227.
- Richards, F.J. and E. Berner, Jr. 1954. *Annals of Botany* 18: 15-33.
- Walter, A.J. and C.D. DiFonzo. 2007. *Environ. Entomol.* 36(1)26-33.
- Weibull, J. 1988. *Phytochemistry* 27: 2069-2072.

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

# Применение и эффективность калийных удобрений в Китае

Фан Чен, Пинг Хе, Шутан Ли, Шихуа Ту

В настоящее время из общей площади пахотных почв в мире, которая составляет 1,3 млрд. га, только 10% не подвержены значительному выносу элементов питания растений или испытывают его в малой степени. На остальной территории около 40% почв имеют недостаточный уровень содержания доступных для растений форм калия [K] (Yang, 1988; Jiang et al., 2003). В Китае в последние годы в результате использования интенсивных агротехнологий и повышения урожайности сельскохозяйственных культур произошло расширение площадей пашни с дефицитом калия. Шелдрик с соавторами (Sheldrick et al., 2003) показали, что благодаря выносу K с урожаем ежегодный отрицательный баланс K в пашне Китая составлял 7,7 млн. т K<sub>2</sub>O.

В зависимости от биологической доступности, различают четыре формы K в почве: водорастворимый (K почвенного раствора), обменный, необменный и K минерального скелета (Huang et al., 1979). Водорастворимый K обычно присутствует в сельскохозяйственных почвах в небольшом количестве – менее 1% от общего содержания K в почве (Jin, 1993). Однако такой низкий уровень содержания водорастворимого K в почве может обеспечить получение только невысокой урожайности. Минеральные калийные удобрения представляют собой легко растворимые соединения калия и являются критически важным элементом современного высокопродуктивного сельского хозяйства. Для большинства сельскохозяйственных культур чтобы получить нормальный урожай достаточен средний уровень содержания водорастворимого K в почве. Однако для некоторых высокоурожайных кормовых и клубнеплодных культур, таких как картофель, необходим высокий уровень содержания водорастворимого K в почве.

Запасы калия в сельскохозяйственных почвах Китая весьма ограничены, поэтому очень важно повышать эффективность использования минеральных K-удобрений и природных источников K.

На юге Китая в условиях повышенных температур, осадков и интенсивного выветривания потери питательных элементов из почвы в результате выщелачивания и поверхностного стока весьма велики. Кроме того, высокий индекс использования посевных площадей (в среднем 2.1 культуры в год) приводит к выносу большого количества питательных элементов с пашни

без соответствующего возмещения отчужденного K. В течение последних трех десятилетий признаки дефицита K проявлялись на ~2/3 площадей орошаемых рисовых полей и 1/2 площадей неорошаемых почв на юге Китая, что составляет 80% от общей площади пахотных почв Китая с недостаточным содержанием доступных для растений форм K в почве (Zheng and Chen, 2004).

На севере Китая в условиях пониженных значений температур, осадков и индекса использования посевных площадей в почвах обычно наблюдается больше K-содержащих минералов, что приводит к более низкой эффективности применения калийных удобрений по сравнению с южными районами страны. Исследования показали (Liu et al., 2011; He et al., 2012), что в большинстве северных районов центрального Китая применение K удобрений повышало урожайность зерна пшеницы и прибыль с гектара, но средняя прибавка урожая составляла менее 1 т/га. Таким образом, показатели эффективности использования K удобрений на севере Китая были относительно низкими.

## Баланс калия в почвах сельхозугодий

Начиная с 1980 года, применение промышленных калийных удобрений в Китае активно пропагандировалось посредством проведения многочисленных научно-практических исследований и демонстрационных проектов. Общее потребление промышленных калийных удобрений в Китае значительно возросло с 386 тыс. т в 1980 году до 1,98 млн т в 1990 году и 8,49 млн

Таблица 1. Баланс NPK в почвах сельхозугодий в трех провинциях на юге Китая (кг/га в год).

Провинция	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O		
	Поступление	Вынос	Баланс	Поступление	Вынос	Баланс	Поступление	Вынос	Баланс
Цзянсу	481	394	87	155	91	64	163	196	-33
Хунань	583	253	330	188	156	32	318	361	-43
Шанхай	365	144	221	102	69	33	70	164	-94

Источник: Данные программы IPNI по Китаю.

**Таблица 2.** Баланс NPK в почвах сельхозугодий в северном Китае (кг/га в год).

Провинция	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O		
	Поступление	Вынос	Баланс	Поступление	Вынос	Баланс	Поступление	Вынос	Баланс
Северо-восточный	355	326	29	156	103	53	131	198	-67
Северный центральный	475	391	84	246	118	128	219	226	-7
Северо-западный	401	309	92	172	89	84	170	170	0

Источник: Данные программы IPNI по Китаю.

**Таблица 3.** Отзывчивость с/х культур, агрономическая эффективность (АЭ) и дополнительная прибыль при внесении калийных удобрений в Китае

Культуры	Кол-во опытов	Урожайность (т/га)	Прибавка урожая от К			Прибыль (\$/га)
			%	кг/га	кг продукции/кг K <sub>2</sub> O (АЭ)	
Зерновые	582	8.1	14	990	10.3	258
Овощи	137	63.2	15	8500	58.0	1419
Плодовые	51	32.5	23	6000	12.0	3548
Масличные	87	3.0	17	433	4.8	292
Клубнеплодные	116	28.1	18	4000	44.0	787
Хлопчатник	56	2.5	22	458	3.1	533
Чай	15	6.4	14	755	2.9	875

Источник: Данные Программы IPNI по Китаю.

**Таблица 4.** Планируемая урожайность, содержание К в почве, рекомендуемые дозы и окупаемость К-удобрений.

Культура	Содержание доступных форм К в почве (мг/кг)	Рекомендуемая доза K <sub>2</sub> O (кг/га)	Планируемая урожайность (т/га)	Окупаемость (\$/\$)
Рис (n=135)	<40	117	6.1	4.8
	40-60	98	6.8	3.1
	60-90	90	7.0	2.5
	90-120	77	7.8	1.8
	>120	62	8.3	1.3
Кукуруза (n=46)	<60	170	4.7	6.2
	60-100	126	5.6	5.8
	100-130	113	6.5	3.3
	130-150	90	6.4	2.1
	>150	68	6.7	2.1
Арахис (n=26)	<50	152	2.8	8.3
	50-70	108	3.1	6.1
	70-90	100	3.4	5.7
	90-120	63	3.9	5.0
	>120	35	4.0	3.2
Рапс (n=67)	<50	150	1.1	3.8
	50-80	105	1.3	3.6
	80-100	92	1.4	3.1
	100-120	87	1.4	2.8
	>120	45	1.7	1.5

Источник: Совместные проекты программы по Китаю IPNI и Институтов Почвоведения и Удобрений в провинциях Хунань. Хубей. Цзянси. Чжэцзян. Сычуан. Гуанси и Гуандун.

т в 2010 году. В последние годы средние дозы внесения калийных удобрений на сельхозугодьях в различных регионах Китая составляли 87- 178 кг K<sub>2</sub>O/га. Из всех источников К, используемых в сельском хозяйстве, 38% составляют промышленные калийные удобрения, 35% – экскременты животных и человека, 17% – пожнивные остатки, 4% – различные отложения, 4% – вода для орошения, 1% – сидераты, и 1% – жмыхи (Li and Jin, 2011).

Хотя потребление калия существенно возросло за последние 30 лет, этот рост недостаточен для того, чтобы обеспечить калием увеличивающуюся площадь посевов и высокую урожайность, а также восполнить соответствующий вынос К из почвы. В то же время, территория, на которой применяются промышленные калийные удобрения в Китае, увеличилась на 14.4% (с 9,94 млн га в 1980 году до 11,37 млн га в 2008 году).

Однако в наибольшей степени внесение калийных удобрений возросло на посевных площадях, занятых наиболее рентабельными товарными и плодовыми культурами, а так же овощами, которым необходимо более высокое содержание доступных форм К в почве, чем зерновым культурам.

На юге Китая, начиная с 1980 года, было проведено много научно-исследовательских проектов, направленных на изучение калийного состояния почв, структуры посевных площадей, взаимодействия между различными элементами питания в почве и других факторов. Эти проекты были осуществлены при поддержке Международного института питания растений (IPNI). Общей целью проектов было увеличение эффективности калийных удобрений на 5-10% при сохранении отношения стоимости прибавки урожая к затратам на удобрения, т.е. окупаемости К удобрений, выше 3.0. В **таблице 1** приведены данные по балансу NPK в почвах сельхозугодий трех провинций на юге Китая. В то время как баланс азота (N) и фосфора (P) в почве был положительный, баланс калия (K) был отрицательным во всех трех провинциях. Если эта тенденция будет продолжаться, то дефицит К в почвах сельхозугодий станет серьезной проблемой для производства продуктов питания в будущем.

В последние годы, благодаря расширению площади посевов под высокопродуктивными сортами и внесению более высоких доз азотных и фосфорных удобрений, баланс К стал отрицательным в почвах сельхозугодий и некоторых районов на севере Китая. По опубликованным данным (Li and Jin, 2011), ежегодный вынос К из почв составляет 67 кг  $K_2O$ /га в год в северо-восточных районах страны (провинции Хэйлуцзянь, Цзилин и Ляонин) и 7 кг  $K_2O$ /га – в северных районах центрального Китая [провинции Пекин, Тяньцзинь, Хэбэй, Хэнань, Шаньдун и Шаньси] (**таблица 2**).

### Отзывчивость основных с/х культур на применение калийных удобрений

В период между 2001 и 2010 годами в рамках программы IPNI по Китаю были проведены 1044 полевых опыта с различными культурами по всей стране (**таблица 3**). Полученные результаты показывают, что хлопчатник, а так же плодовые, клубнеплодные и масличные культуры проявляют максимальную отзывчивость на калийные удобрения, при этом прирост урожая от использования К составляет 17-23%. Применение калийных удобрений под плодовые культуры, овощи и чай дало максимальную прибыль с гектара (от 875 до 3548 долларов США/га). Овощи и клубнеплодные культуры показали максимальную агрономическую эффективность (44–58 кг продукции на 1 кг внесенного  $K_2O$ ), что значительно превышало результаты, полученные для других с/х культур.

IPNI также обобщил полученные результаты многочисленных полевых опытов (1041 опыт), проведенных на 30-ти основных культурах на юге Китая в течение последних трех десятилетий. Результаты показали хорошую отзывчивость всех культур на применение калийных удобрений. Большинство товарных культур и овощей показали более высокую отзывчивость на К удобрения, а также прибыль с гектара посевной площади, чем зерновые культуры. В общем, более высокий

экономический эффект был получен при внесении калийных удобрений под товарные культуры и овощи.

### Рекомендации по применению калийных удобрений, основанные на данных почвенного анализа

**Таблица 4** содержит рекомендации по оптимальным дозам калийных удобрений для четырех основных культур, выращиваемых на юге Китая. Они были разработаны на основании данных почвенного анализа. Аналогичные рекомендации были предложены и для других культур, выращиваемых во всех регионах страны. Дальнейшие исследования в рамках программы IPNI по Китаю и совместных проектов института будут сфокусированы на оценке эффективности применения калийных удобрений при различной влажности почвы, пространственном варьировании содержания элементов питания в почве, миграции К в экологических системах сельхозугодий, а также возможном воздействии К на окружающую среду.

### Выводы

Применение калийных удобрений необходимо и выгодно для сельскохозяйственного производства в Китае. Наша основная задача – эффективно применять калийные удобрения для увеличения производства сельскохозяйственных культур.

### Литература

- He, P., J.Y. Jin, H.T. Wang, R.Z. Cui, and C.J. Li. 2012. Yield responses and potassium use efficiency for winter wheat in north-central China. *Better Crops*, Vol.96 (3):28-30.
- Huang, P.M. 1979. Soil potassium reserves in relation to crop response to potash. In *Proceedings of the workshop, Potash and Phosphate Institute of Canada, Saskatoon, Canada*.
- Jiang, C.C., L.S. Yuan, and Y.H. Wang. 2003. K-efficiency in different cotton genotypes at seeding stage. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 22(6):564-568.
- Jin, J.Y. 1993. *Advances in soil potassium research. Acta Pedologica Sinica*, 1993, 30(1):94-101.
- Li, S.T. and J.Y. Jin. 2011. Characteristics of Nutrient Input/Output and Nutrient Balance in Different Regions of China. *Scientia Agricultura Sinica*, 44 (20):4207-4229.
- Liu, X.Y., P. He, J.Y. Jin, W. Zhou, G.D. Sulewski, and S. Phillips. 2011. Yield Gaps indigenous nutrient supply, and nutrient use efficiency of wheat in China. *Agronomy Journal*, Vol.103 (5):1452-1463.
- Sheldrick, W.F., J.K. Syers, and C.J. Lingard. 2003. Soil nutrient audits for China to estimate nutrient balances and output/input relationships. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 94(3):341-354.
- Yang, X.E. 1988. Research on the genetic characteristics of plant mineral nutrition. *Advances of Soil Science*, 19(6):284-287.
- Zheng, S.X. and F. Chen. 2004. Research on the technologies of high efficient application potash for main crops in south China. *Evaluation of Soil K Fertility and Rational K Fertilization-Proceedings of 10th International Potash Symposium*, Science and Technology Publishing House of Jilin, p.227-233.

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

# Экономические преимущества применения калийных удобрений при выращивании основных зерновых культур на Индо-Гангской равнине

С. Датта, К. Маджумдар, Т. Сатьянараяна

Стоимость калийных (K) удобрений в Индии за последние три года заметно выросла. Это вызвало обеспокоенность относительно рентабельности применения K-удобрений под зерновые культуры. Исследования по изучению отзывчивости риса, пшеницы и кукурузы на K-удобрения, недавно проведенные на Индо-Гангской равнине (ИГР), проде-

монстрировали достоверное повышение урожайности данных культур, а также доходности их возделывания при применении K-удобрений. Согласно полученным результатам, невнесение K-удобрений под указанные зерновые культуры ведет к нестабильным урожаям зерна и недополучению прибыли даже при повышении цен на K-удобрения. Экономическая оценка с использованием прогнозных показателей – стоимости K-удобрений и минимальной закупочной цены (МЗЦ) на зерно также свидетельствует о приемлемой окупаемости затрат на приобретение K-удобрений.

Общепринятое представление о том, что почвы Индии богаты калием и не требуют внесения K-удобрений, уже неактуально в условиях интенсивного производства сельскохозяйственных культур. Действительно, появляется все больше свидетельств растущего дефицита калия в результате недостаточного внесения или невнесения K-удобрений и несбалансированного применения азотных (N) и фосфорных (P) удобрений. Несбалансированное по калию применение удобрений, безусловно, оказывает негативное влияние на рост и развитие растений риса, пшеницы и кукурузы – основных зерновых культур, за счет которых формируется продовольственная безопасность Индии. Ситуация ухудшилась после недавнего увеличения цен на K-удобрения. Существует два способа, позволяющих справиться с ростом цен на удобрения: 1) повышение урожайности культур с определенным годовым приростом или 2) увеличение цен на сельхозпродукцию. Предыдущие исследования, проведенные в разных регионах Индии, выявили значительное повышение урожайности сельскохозяйственных культур в результате применения K-удобрений, равно как и связанные с этим экономические выгоды. Расчет экономической отдачи от внесения K-удобрений при вышеуказанной высокой отзывчивости растений на калий с учетом МЗЦ на зерно и сложившейся стоимости 1 кг  $K_2O$  свидетельствует о том, что на одну рупию, вложенную в приобретение K-удобрений, можно получить доход в размере более 15-ти рупий. Рассматри-

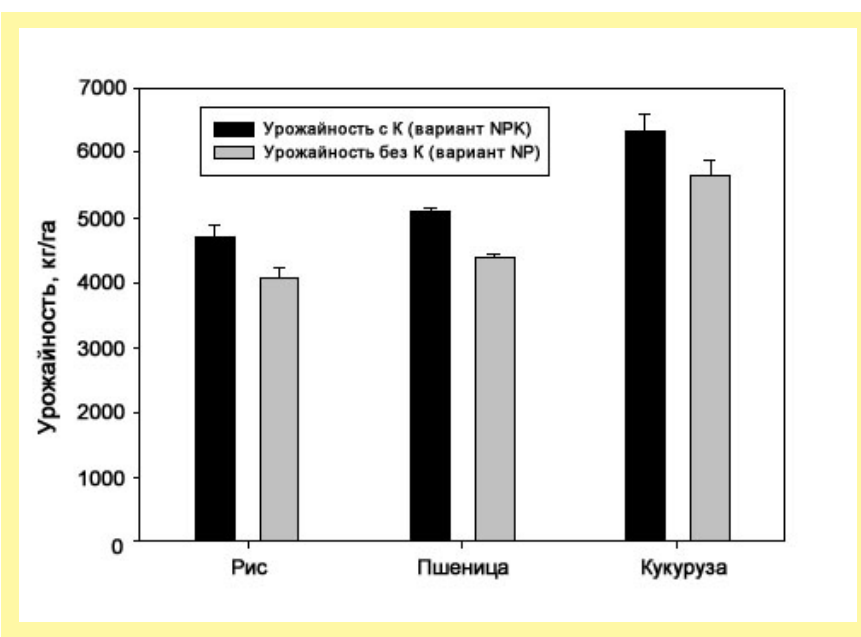


Рис. 1. Средняя урожайность зерна (кг/га) с внесением и без внесения K-удобрений под зерновые культуры в опытах, проведенных в разных почвенно-климатических условиях.

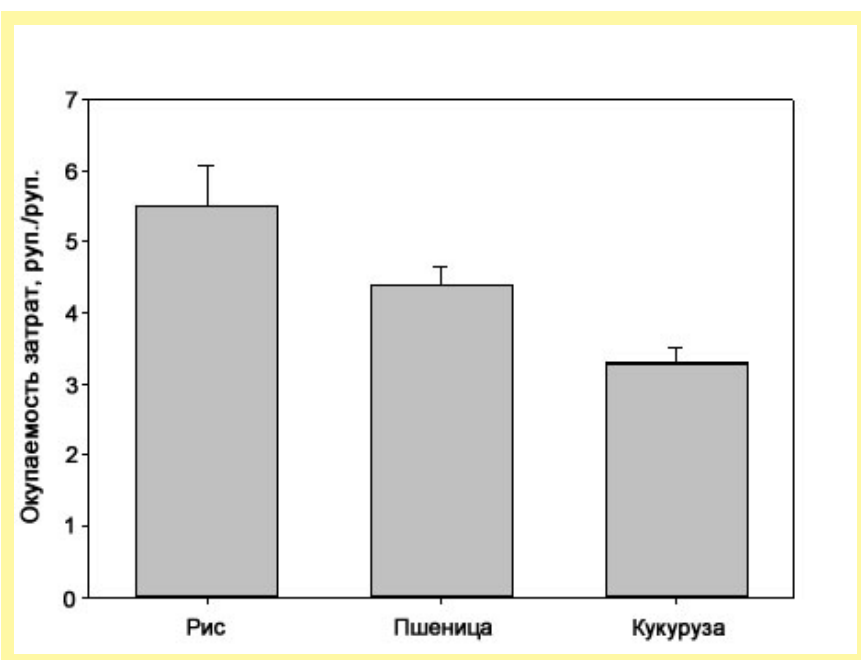
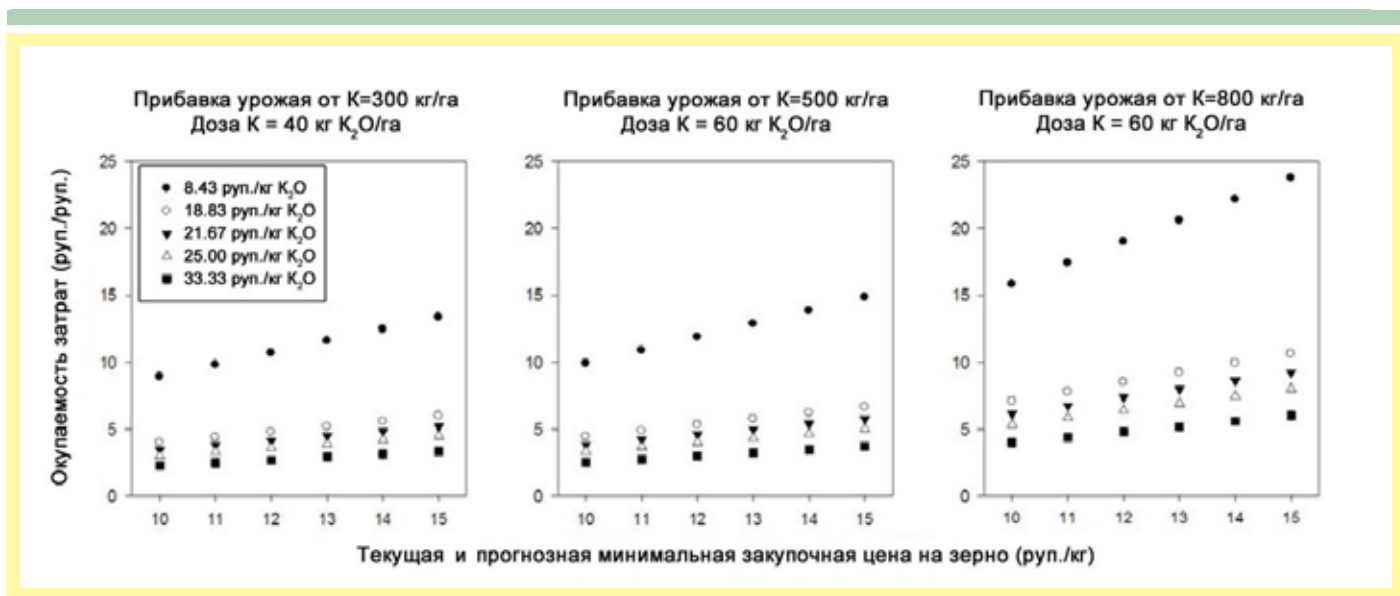


Рис. 2. Окупаемость затрат на приобретение K-удобрений при цене 18,83 руп./кг  $K_2O$  по зерновым культурам в ИГР-регионе.



**Рис. 3.** Окупаемость затрат на приобретение К-удобрений при разной отзывчивости риса на калий, рассчитанная исходя из прогнозных показателей – цен на К-удобрения и минимальных закупочных цен на зерно риса.

ваемое в данной статье исследование охватывало весь ИГР-регион и проводилось для того, чтобы оценить: 1) отзывчивость риса, пшеницы и кукурузы на применение К-удобрений в разных почвенно-климатических условиях; 2) экономическую выгоду от применения К-удобрений под основные зерновые культуры при сценарии роста цен на удобрения.

В рамках проекта «Инициатива по системам возделывания зерновых культур в Южной Азии» (CSISA) Международный институт питания растений (IPNI) совместно с Международным центром по улучшению кукурузы и пшеницы (CIMMYT) провел в 2009-2011 гг. полевые опыты на фермерских полях для установления отзывчивости сельскохозяйственных культур на основные элементы питания в разных почвенно-климатических условиях ИГР-региона. На полях фермеров в штатах Пенджаб, Харьяна, Уттар-Прадеш, Бихар, Джаркханд и Западная Бенгалия в общей сложности было проведено 45, 141 и 36 опытов соответственно на рисе, пшенице и кукурузе. В западной части ИГР-региона опыты проводились в условиях интенсивного орошаемого земледелия на достаточно крупных по размерам фермерских полях, а в восточной части Индии – на сильно фрагментированных фермерских полях в условиях неорошаемого низкоинтенсивного земледелия.

## Результаты

Изучение отзывчивости основных зерновых культур на К-удобрения, проведенное на фермерских полях обширного географического региона, показало, что:

1) Урожайность зерновых культур достоверно повышается в результате применения К-удобрений. Их невнесение под три основные зерновые культуры ведет к нестабильным урожаям зерна и недополучению прибыли фермерами.

2) Средний недобор урожая зерна риса, пшеницы и кукурузы на фермерских полях при исключении калия из состава удобрения составил соответственно 622,

715 и 700 кг/га. Это подтверждает концепцию о низкой калийснабжающей способности большей части почв в Индии.

3) Использование общих рекомендаций по применению К-удобрений в большинстве случаев ведет к их недостаточному либо избыточному внесению, и фермеры при этом несут экономические потери. Поэтому для повышения урожайности и рентабельности применения удобрений стратегия расчета доз К-удобрений должна основываться на ожидаемой отзывчивости культур на калий в каждом конкретном условиях, в дополнение к определению степени обеспеченности растений калием, исходя из анализа почвы.

В целом, проведенное нами исследование показало, что величина снижения урожайности риса, пшеницы и кукурузы в результате невнесения К-удобрений варьирует в опытах на фермерских полях. В большинстве случаев окупаемость затрат на приобретение К-удобрений оказалась достаточно высокой, что полностью развеяло миф об экономической невыгодности применения К-удобрений под зерновые культуры.

## Методология

В полевых опытах на полях фермеров изучались следующие четыре варианта внесения удобрений:

- 1) Высокие дозы NPK
- 2) Высокие дозы PK (N0)
- 3) Высокие дозы NK (P0)
- 4) Высокие дозы NP (K0)

Дозы NPK под рис рассчитывались на планируемую урожайность 5-8 т/га и составили: 125-175 кг N, 50-80 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 60-90 кг K<sub>2</sub>O на гектар. Доза N под пшеницу рассчитывалась на планируемую урожайность 5-6 т/га и составила 150-180 кг/га, а дозы P и K были фиксиро-

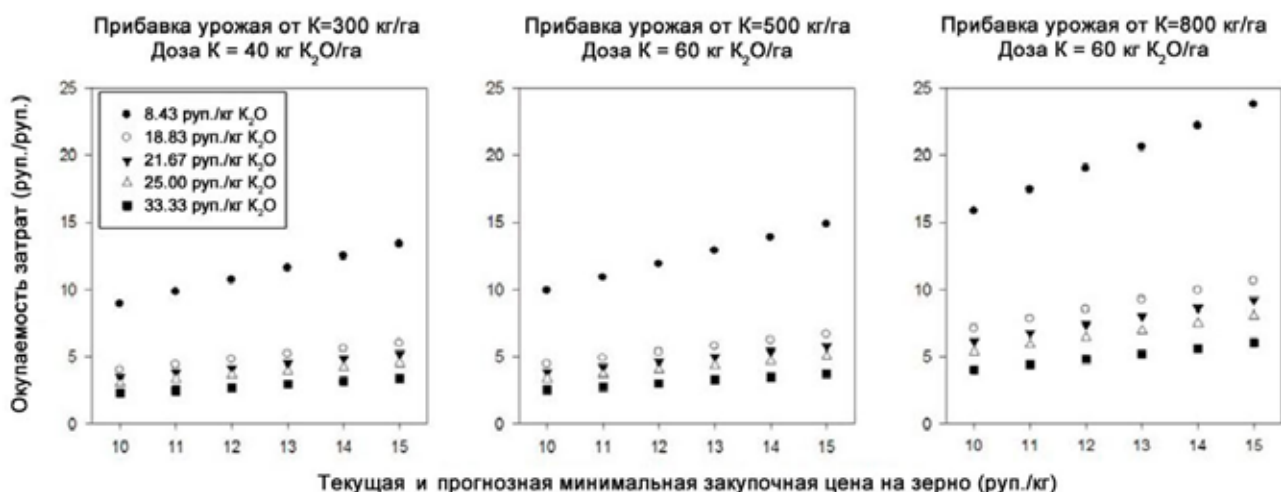


Рис. 4. Окупаемость затрат на приобретение К-удобрений при разной отзывчивости пшеницы на калий, рассчитанная исходя из прогнозных показателей – цен на К-удобрения и минимальных закупочных цен на зерно пшеницы.

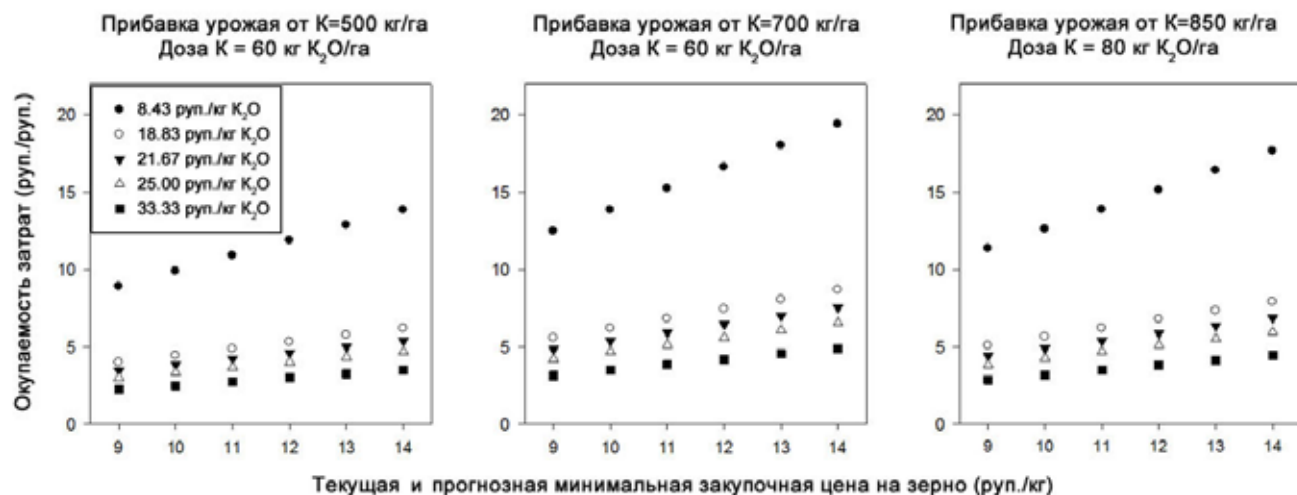


Рис. 5. Окупаемость затрат на приобретение К-удобрений при разной отзывчивости кукурузы на калий, рассчитанная исходя из прогнозных показателей – цен на К-удобрения и минимальных закупочных цен на зерно кукурузы.

ванными – 90 кг  $P_2O_5$  и 100 кг  $K_2O$  на гектар. Дозы NPK под кукурузу рассчитывались на планируемую урожайность 6-8 т/га и составили: 150–180 кг N, 70–115 кг  $P_2O_5$  и 120–160 кг  $K_2O$  на гектар. Согласно протоколу опытов, вышеуказанные дозы NPK были выше реальной потребности культур в элементах питания для того, чтобы гарантированно исключить их недостаток у растений. Использование вышеуказанной схемы во всех регионах проведения опытов позволило нам установить отзывчивость зерновых культур на К-удобрения, исходя из разницы в урожайности между вариантами с внесением NPK и NP. Мы рассчитали окупаемость затрат на приобретение К-удобрений (доход на одну рупию, вложенную в приобретение удобрений) при четырех сценариях изменения цен на хлористый калий (4455, 5055, 11300 и 13000 рупий/т), а также при четырех уровнях отзывчивости культур на К-удобрения (прибавки урожая зерна от К: 200, 500, 1000 и 1500 кг/га) и при трех дозах внесения К-удобрений (100, 80 и 60 кг  $K_2O$ /га) [1 доллар США равен приблизительно 50 рупиям]. Диапазон отзывчивости зерновых культур на калий, использованный в расчетах, соответствовал результатам опытов, проведенных на

полях фермеров. Кроме того, мы провели расчеты на основе текущих и прогнозных показателей, включая цены на К-удобрения и МЗЦ на зерно риса, пшеницы и кукурузы, чтобы оценить окупаемость калийных удобрений на данных трех культурах при возможных сценариях.

### Рис

Согласно результатам 45-ти полевых опытов, проведенных на фермерских полях, при внесении высоких доз NPK средняя урожайность зерна составила 4701 кг/га, а среднее снижение урожайности при исключении калия из состава удобрения – 622 кг/га (рисунок 1). Даже в таких штатах, как Пенджаб и Харьяна, которые традиционно считаются регионами с низкой отзывчивостью растений на внесение К-удобрений, недобор урожая зерна при невнесении калия составил 500-1000 кг/га. Экономический анализ показал, что окупаемость затрат на приобретение К-удобрений была в диапазоне 0.8-16.0 руп./руп. Это означает, что каждая рупия, вложенная в приобретение К-удобрений, способствовала получению прибавки урожая зерна риса стоимостью 0.8-16.0 рупий при среднем значении по

опытам, равном 5.5 рупий (**рисунок 2**). Только в трех опытах наблюдалась отрицательная доходность от калия – менее 1.0 рупии дохода на одну рупию, вложенную в приобретение К-удобрений.

Экономические расчеты, основанные на прогнозных ценах на зерно риса и К-удобрения (**рисунок 3**) показали, что при самой высокой прогнозной стоимости калия (33.33 руп./кг  $K_2O$ ) и самой низкой МЗЦ на зерно (10 руп./кг) окупаемость затрат на приобретение К-удобрений составляет 2.3 руп./руп. Данный расчет основан на дозе внесения калия 40  $K_2O$ /га и прибавке урожая зерна от калия 300 кг/га и свидетельствует о рентабельном применении К-удобрений. Разумеется, увеличение МЗЦ на зерно повышает доходность. В случае более высокой отзывчивости риса на калий – при прибавках урожая зерна, равных 500 и 800 кг/га, окупаемость затрат на приобретение К-удобрений при самой низкой МЗЦ на зерно достигает соответственно 2.5 и 4.0 руп./руп. с учетом дозы внесения 60 кг  $K_2O$ /га. В полевых опытах на фермерских полях калий вносился в дозах 60–100 кг  $K_2O$ /га, исходя из планируемой урожайности риса. Исключение калия из состава удобрения приводило к недобору урожая зерна риса на  $\geq 500$  кг/га в более чем половине опытов. Таким образом, при указанной отзывчивости на калий внесение 40–60 кг  $K_2O$ /га обеспечит фермерам хорошую окупаемость затрат на приобретение К-удобрений и будет способствовать сохранению плодородия почв. Необходимо понимать, что в большом ИГР-регионе разные типы почв, на которых возделывается рис, сильно различаются по своей калийснабжающей способности, поэтому определять дозу К-удобрений следует, исходя из ожидаемой отзывчивости растений на калий в каждом конкретном случае.

### Пшеница

Результаты полевых опытов (141), проведенных на фермерских полях на Загангской и Верхнегангской равнинах, показали, что средняя урожайность зерна пшеницы при внесении высоких доз NPK составила 5096 кг/га. Недобор урожая при исключении калия из состава удобрения был в диапазоне 0–2222 кг/га при среднем значении 715 кг/га (**рисунок 1**). Недобор урожая в 715 кг/га при текущей МЗЦ на зерно пшеницы (11.7 руп./кг) эквивалентен недополученной прибыли в размере 8366 руп./га. Большая часть опытов была проведена в штатах Пенджаб, Харьяна, а также в западной части штата Уттар-Прадеш, где почвы традиционно считаются богатыми калием, и где К-удобрения рекомендуются либо не вносить, либо вносить в низких дозах. Окупаемость затрат на приобретение К-удобрений в опытах с пшеницей составила 0–13.22 руп./руп., а в среднем – 4.44 руп./руп. (**рисунок 2**). Только в 24-х опытах из 141-го (т.е. в 17% случаях) указанный показатель был менее 2.0 руп./руп. Расчеты проведены, исходя из текущей МЗЦ на зерно пшеницы и стоимости калия в размере 18.83 руп./кг  $K_2O$ .

Экономические расчеты, основанные на прогнозных показателях – ценах на К-удобрения и МЗЦ на зерно пшеницы, свидетельствуют о том, что при росте цен на К-удобрения с 8.33 до 33 руп./кг  $K_2O$  окупаемость затрат на их приобретение резко снижается (**рисунок 4**). Тем не менее, при теку-

щей МЗЦ на зерно и максимальной прогнозной стоимости 1 кг  $K_2O$  вышеуказанный показатель составляет 2.9 руп./руп., т.е. соотношение затрат на приобретение К-удобрений и стоимости прибавки урожая от калия составляет 1:3 даже в регионах с самой низкой отзывчивостью пшеницы на калий. В регионах с высокой отзывчивостью пшеницы на калий (прибавка урожая зерна  $\approx 1000$  кг/га) окупаемость затрат на приобретение К-удобрений при их максимальной прогнозной стоимости и текущей МЗЦ на зерно достигает 4.1 руп./руп., делая вложения в покупку К-удобрений выгодной инвестицией для фермеров. В нашем исследовании в 25% опытов прибавка урожая зерна от калия превышала 1 т/га, что при текущих показателях – ценах на К-удобрения и МЗЦ на зерно пшеницы дает окупаемость затрат на приобретение К-удобрений, равную 8.0 руп./руп.

### Кукуруза

Полевые опыты по изучению отзывчивости кукурузы на N-, P- и К-удобрения проводились в штатах Бихар и Западная Бенгалия, где данная культура становится основной альтернативой рису и пшенице соответственно в сезон муссонных дождей и в зимний сезон. Недобор урожая зерна кукурузы при исключении калия из состава удобрения, если сравнивать с вариантом с внесением NPK, находился в диапазоне 140–1320 кг/га при среднем значении – 700 кг/га (**рисунок 1**). С учетом текущей МЗЦ на зерно кукурузы (8.80 руп./кг) недобор урожая в проведенных опытах был равнозначен недополученной прибыли в размере 1232–11616 руп./га при среднем значении, равном 6160 руп./га. В Индии кукуруза выращивается зимой, весной и в сезон муссонных дождей. Рассматриваемые в данной статье результаты были получены как в зимнем, так и в весеннем сезоне. В проведенных опытах средняя урожайность зерна кукурузы в весеннем сезоне составила 4936 кг/га, а в зимнем – 7748 кг/га. Средняя прибавка урожая зерна от внесения К-удобрений в зимний сезон была примерно на 200 кг/га выше по сравнению со средним значением по двум сезонам. На одну рупию, вложенную в приобретение К-удобрений для внесения под кукурузу, было получено 0.65–6.17 рупий дохода при среднем значении по всем опытам, равном 3,27 рупии (**рисунок 2**). Несмотря на самую низкую МЗЦ на зерно кукурузы среди трех зерновых культур, из 36-ти обобщенных в данной работе опытов только в 6-ти случаях на одну рупию, вложенную в приобретение К-удобрений, было получено менее 2.0 рупий дохода.

Внесение К-удобрений при их текущей стоимости выгодно, если прибавка урожая зерна кукурузы от калия превышает 500 кг/га. Результаты опытов, проведенных на полях фермеров, свидетельствуют о том, что в 75% случаев прибавка урожая зерна от калия превышала 500 кг/га. Это дает достаточно высокую окупаемость затрат на приобретение К-удобрений даже при внесении 100 кг  $K_2O$ /га и стоимости удобрения, равной 18.83 руп./кг  $K_2O$ . МЗЦ на зерно кукурузы наименьшая среди трех зерновых культур. При сложившихся сейчас МЗЦ на зерно кукурузы и стоимости К-удобрений окупаемость затрат на их приобретение с учетом прибавок урожая зерна от калия в 500, 700 и 850 кг/га составляет соответственно 4.0, 5.6 и 5.1

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 (рисунк 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 с\х 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.

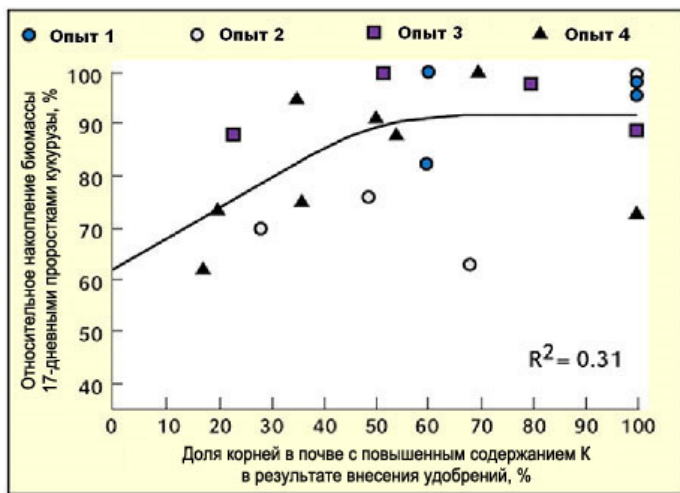
Настоящая статья посвящена вопросам оптимизации внесения К-удобрений лентами под кукурузу в течение длительного времени. В отличие от азота и фосфора, локальное внесение калия не приводит к разрастанию корней в зоне, обогащенной этим элементом (Claassen and Barber, 1977). Следовательно, для того, чтобы 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 спосо-

бов 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 уксусной кислоты, наблюдалось в верхних слоях почвы. Дифференцированное определение содержания К в почве на глубине 0–5, 5–10 и 10–20 см позволило выявить стратификацию калия в почве в предыдущий год выращивания куку-



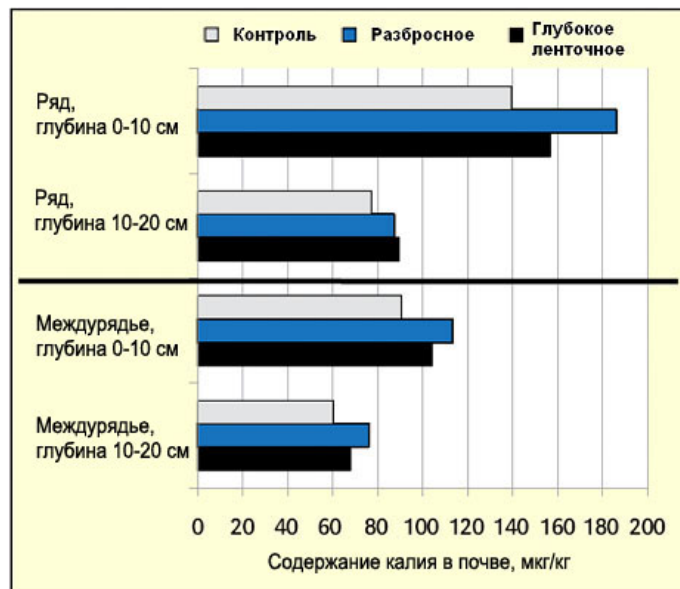


**Рис. 1.** Соотношение между относительным выходом надземной биомассы 17-дневных растений кукурузы и содержанием корней в почве, удобренной калийным удобрением (Classen and Barber, 1977).

рузы 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  $K_2O/ga$  (Yin and Vyn, 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.

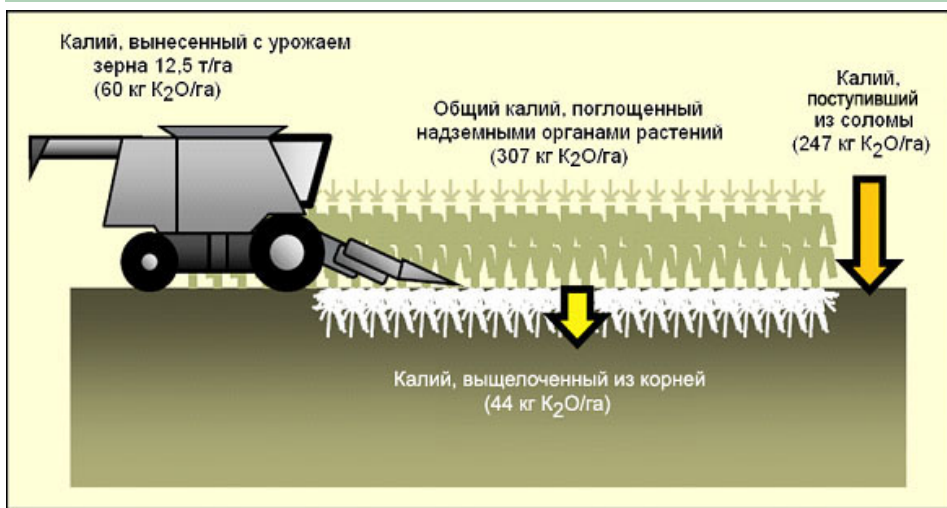
Помимо изменений в распределении корней при различных системах обработки почвы, стратификация элементов питания побудила исследователей изучить возможное преимущество стратегии увеличения объема удобряемой почвы в предполагаемой корневой зоне при расположении удобренных полос на разных глубинах. Хотя 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 и тех же участках поля в течение длительного времени. При изучении эффективности ленточного внесе-



**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).

ния NPK удобрений в дозах калия от 12 до 26 кг  $K_2O/ga$  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  $K_2O/ga$  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 (Vyn, 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 учитывалось количество калия, внесенного в почву, а также вынесенного с урожаем зерна и возвращенного в по-



**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.

чву из соломы и корней. Были приняты следующие допущения: а) вынос калия с урожаем зерна составил 4,8 кг  $K_2O/т$ ; б) общее количество калия, поглощенного надземными органами растений, составило 24,5 кг  $K_2O/т$ ; 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 внесением удобрений, а какая – с перераспределением элемента самими растениями кукурузы. Некоторую ясность в

этот вопрос внесли результаты исследований, полученные при полосовой обработке почвы в Индии (Vyn, 2010) и нулевой обработке в Огайо (Yin and Vyn, 2003). Более высокое содержание калия в почве наблюдались в рядах растений по сравнению между рядами, 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.*

# Надо ли применять калийные удобрения?

Т.С. Мюррелл

*Калий необходим для роста и развития растений. Невнесение калийных удобрений на почвах с низкой калийснабжающей способностью лимитирует урожайность и продуктивность сельскохозяйственных культур и ведет к деградации почв. Отказ от применения калийных удобрений на почвах с высокой калийснабжающей способностью не снижает урожайность и продуктивность сельскохозяйственных культур. Однако длительное некомпенсированное отчуждение калия с урожаями в конечном итоге ведет к истощению почвенного плодородия по калию, и данный фактор становится лимитирующим. Это произошло в ряде регионов мира.*

**Р**астениям для нормального роста и развития необходимы 17 элементов питания, и калий (К) – один из них. Он потребляется растениями в больших количествах, и поэтому относится к макроэлементам. Корневая система растений поглощает калий из почвы. В связи с этим возникает следующий основополагающий вопрос, на который специалисты в области плодородия почв и питания растений ищут ответ в течение последних десятилетий: «Насколько потребность растений в калии может быть удовлетворена за счет калия, содержащегося в почве?»

Чтобы выяснить, достаточно ли почва обеспечена калием, исследователи проводят полевые опыты с внесением возрастающих доз калийных удобрений и изучают отзывчивость растений. Вариант без внесения калия, называемый «контролем», в данном случае служит для сравнения. Если при внесении калийных удобрений улучшается рост и развитие растений, и обеспечивается получение прибавки урожайности относительно контроля, это свидетельствует о том, что калийснабжающая способность почвы недостаточна для удовлетворения потребностей растений в калии.

Схема полевых опытов по изучению отзывчивости растений на отдельные элементы питания составляется таким образом, чтобы можно было установить, как внесение какого-либо элемента влияет на его поглощение растениями и на урожайность в том случае, когда все остальные элементы питания вносятся в достаточных количествах. Например, в Китае был недавно проведен мета-анализ данных 522 полевых опытов по изучению отзывчивости пшеницы на применение калийных удобрений (Liu и др., 2011). Опыты проводились в трех основных регионах возделывания пшеницы, и средняя прибавка урожайности зерна при внесении калия составила 0.74 т/га.

Наблюдаемая в полевых опытах отзывчивость растений на применение калийных удобрений была и остается основой для решения вопроса о необходимости внесения калия в почву. При этом один из применяемых подходов основан на проведении анализа растений для изучения поглощения калия из почвы. Другой подход предполагает проведение анализа почвы в дополнении к учету урожайности и определению прибавки урожайности от калия. В данной статье рассматриваются оба подхода.

## Подход, основанный на проведении анализа растений

Данный подход подразумевает изучение поглощения калия растениями для ответа на вопрос о том, какое количество калия может поступать в растения из



**Полевой опыт** по изучению отзывчивости яровой пшеницы на азотные, фосфорные и калийные удобрения в ОПХ «Омское» (Омская обл.), проведенный Международным институтом питания растений в сотрудничестве с Сибирским НИИСХ (слева направо: Н.А. Воронкова и В.В. Носов). Фото В.В. Носова.

почвы. В полевых опытах, где изучается отзывчивость растений на применение калийных удобрений, определяется поступление калия из почвы – поглощение калия растениями в варианте без применения калийных удобрений, в котором все остальные элементы питания вносятся в достаточных для растений количествах (Dobermann и др., 2003). При этом сравнивается поглощение калия растениями в вариантах без внесения и с внесением достаточного количества калийных удобрений. Если разницы не наблюдается, то почва способна обеспечить растения достаточным количеством калия. Если же поглощение калия растениями в удобренном калием варианте опыта выше, чем в контроле, то калийснабжающая способность почвы недостаточна для удовлетворения потребностей растений.

Так как нереально заложить опыты по изучению отзывчивости растений на отдельные элементы питания на каждом поле, ученые разрабатывают модели, обобщая данные за имеющееся количество опыто-лет. Такие модели позволяют оценить поступление калия из почвы и общую потребность растений в калии для территорий, где нет опытных данных. Подобный подход использован, например, при разработке «Экспертной программы расчета доз удобрений» [Nutrient Expert] (Pampolino, 2012).

## Подход, основанный на проведении анализа почвы

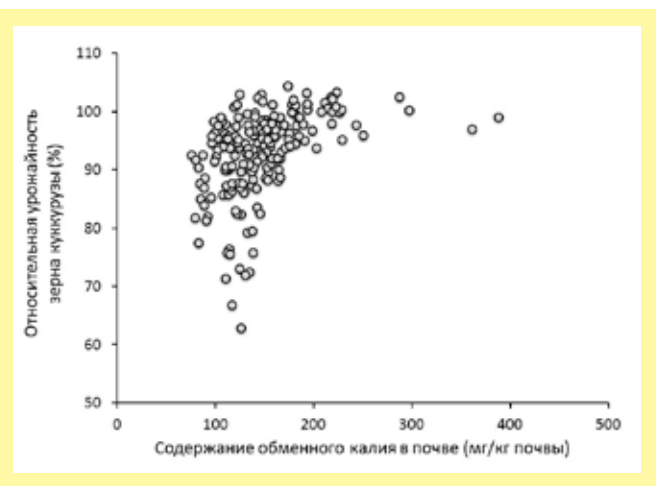
Подход, основанный на проведении анализа почвы, также позволяет определить, насколько почва

способна удовлетворять потребности растений в элементах питания. При этом также проводится учет урожайности, но акцент делается именно на прибавке урожайности, а не на поглощении элементов питания растениями.

Методы анализа почв были разработаны для того, чтобы до посева сельскохозяйственных культур определить, достаточно ли будет поступление калия из почвы (Gray, 1944). При анализе почвы часть калия, удерживаемого на поверхности почвенных частиц, извлекается химическими экстрагентами. Данные формы калия считаются доступными для растений. В связи с тем, что в процессе извлечения калия из почвы задействованы механизмы ионного обмена, извлекаемый таким образом калий называется «обменным». Содержание обменного калия в почве не свидетельствует непосредственно об общем количестве калия, доступного для поглощения растениями. Это показатель, который имеет агрономическую значимость в том случае, когда увязывается с отзывчивостью растений на применение калийных удобрений. Данные зависимости создаются в процессе калибровки данных почвенных анализов.

При проведении исследований с целью калибровки данных почвенных анализов с экспериментального участка отбирается репрезентативный почвенный образец и анализируется на содержание обменного калия. Затем проводится полевой опыт с использованием одной из двух возможных схем. Это может быть вышеописанная схема по изучению отзывчивости растений на применение калийных удобрений, где сравнивается урожайность в вариантах без внесения (контроль) и с внесением калия. Можно также провести полевой опыт по изучению отзывчивости растений на внесение возрастающих доз калия, включающий и контрольный вариант. В обоих случаях проводится учет урожайности, и определяются прибавки урожайности от калия. Кроме того, при использовании второго подхода с помощью статистических моделей определяется доза калия, которая способствует получению максимально достижимой урожайности. Урожайность в варианте без внесения калия выражается в процентах от урожайности, полученной в варианте с внесением достаточной дозы калия. Рассчитанная таким образом относительная урожайность служит показателем того, достаточно ли поступление калия из почвы или нет. Если относительная урожайность < 100%, это свидетельствует о недостаточном калийном питании растений. Также строятся зависимости между относительной урожайностью и исходным содержанием обменного калия в почве. Полученные зависимости показывают, какую урожайность в процентах от достижимого уровня можно получить за счет поступления калия из почвы при данном содержании обменного калия (Dahnke и Olson, 1990).

Пример такой калибровки данных почвенных анализов показан на **рис. 1**, где представлены результаты исследований, проведенных недавно в Университете штата Айова (Barbagelata и Mallarino, 2013). Каждая точка на графике соответствует одному опыту, проведенному в конкретном году, то есть количество точек соответствует количеству опыто-лет. Полученный график показывает, что при обобщении данных для большого количества опыто-лет получается общая



**Рис. 1.** Пример калибровки данных почвенных анализов (адаптировано из: Barbagelata и Mallarino, 2013).

зависимость: при снижении содержания обменного калия в почве снижается и урожайность, если калийные удобрения не вносятся. Об этом свидетельствуют более низкие значения относительной урожайности. Такие зависимости лежат в основе рассматриваемого подхода, предполагающего проведение почвенных анализов. Данный подход позволяет спрогнозировать для каждого конкретного поля, будет ли поступление калия из почвы достаточным для удовлетворения потребностей растений.

## Баланс калия

Баланс калия – ключевая составляющая обоих подходов, предполагающих проведение как анализа растений, так и анализа почвы. Баланс калия для единицы площади рассчитывается как разница между количеством поступившего в почву калия и его выносом. Положительный баланс свидетельствует о повышении почвенного плодородия по калию, а отрицательный – об истощении. Чаще всего определяется хозяйственный баланс. В упрощенном виде он учитывает: 1) вынос калия с урожаем основной продукции и 2) поступление калия с органическими и минеральными удобрениями. При подобных упрощенных расчетах все остальные приходные и расходные статьи баланса калия не принимаются во внимание.

Изучение баланса калия представляет большой интерес для исследователей во всем мире. Он дает представление о том, способствуют ли используемые агротехнологии сохранению и повышению почвенного плодородия по калию или же ведут к его истощению. При низкой калийсодержащей способности почвы целесообразно обогащать почву калием – поддерживать положительный баланс калия. Истощение почвы по калию, то есть отрицательный баланс калия, допустим при высокой калийсодержащей способности почвы, например, в более засушливых сельскохозяйственных зонах. Однако при этом необходимо предостеречь от длительного истощения богатых калием почв, поскольку в конечном итоге их калийсодержащая способность снижается и становится недостаточной для удовлетворения потребностей сельскохозяйственных культур.

На конференции, проведенной в Уганде, все вовлеченные стороны пришли к заключению, что от-

рицательный баланс элементов питания должен служить индикатором деградации почв (Bekunda и Manzi, 2003). Вовлеченными сторонами при этом были фермеры, трейдеры, сельскохозяйственные консультанты, исследователи, сотрудники организаций по развитию аграрного сектора, а также управленцы, принимающие в том числе и политические решения. Как продемонстрировали предметные исследования, «... фермеры не реинвестируют часть доходов от реализации сельскохозяйственной продукции в возмещение выноса элементов питания с урожаем ...».

Таким образом, применение калийных удобрений должно не только удовлетворять потребности сельскохозяйственных культур в калии, но и обеспечивать поддержание калийснабжающей способности почвы на достаточном уровне в долгосрочной перспективе.

## Выводы

Калий – необходимый растениям элемент питания. Невнесение калийных удобрений на почвах с низкой калийснабжающей способностью лимитирует урожайность и продуктивность сельскохозяйственных культур. Доказано, что при этом происходит деградация почв. Отказ от применения калийных удобрений на почвах с высокой калийснабжающей способностью не снижает урожайность и продуктивность сельскохозяйственных культур. Однако длительное некомпенсированное отчуждение калия с урожаями в конечном итоге ведет к истощению почвенного плодородия по калию, и данный фактор становится лимитирующим. Это произошло в ряде регионов мира.

Калийные удобрения надо применять. Использование любого из двух подходов, основанных на проведении анализа растений или почвы, позволяет принять решение о необходимости применения калийных удо-

брений для удовлетворения потребностей растений в калии и для сохранения почвенного плодородия.

## Литература

- Barbagelata, P.A. and A.P. Mallarino. 2013. Field correlation of potassium soil test methods based on dried and field-moist soil samples for corn and soybean. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77:318-327.
- Bekunda, M. and G. Manzi. 2003. Use of the partial nutrient budget as an indicator of nutrient depletion in the highlands of southwestern Uganda. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 67:187-195.
- Bray, R.H. 1944. Soil-plant relations: I. The quantitative relation of exchangeable potassium to crop yields and to crop response to potash additions. *Soil Sci.* 58:305-324.
- Dahnke, W.C., and R.A. Olson. 1990. Soil test correlation, calibration, and recommendations. p. 45-71. In Westermann, R.L. (ed.) *Soil testing and plant analysis*. 3rd ed. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Dobermann, A., C. Witt, S. Abdulrachman, H.C. Gines, R. Nagarajan, T.T. Son, P.S. Tan, G.H. Wang, N.V. Chien, V.T.K. Thoa, C.V. Phung, P. Stalin, P. Muthukrishnan, V. Ravi, M. Babu, G.C. Simbahan, M.A.A. Adviento, and V. Bartolome. 2003. Estimating indigenous nutrient supplies for site-specific nutrient management in irrigated rice. *Agron. J.* 95:924-935.
- Liu, X., P. He, J. Jin, W. Zhou, G. Sulewski, and S. Phillips. 2011. Yield gaps, indigenous nutrient supply, and nutrient use efficiency of wheat in China. *Agron. J.* 103:1452-1463.
- Pampolino, M.F., C. Witt, J.M. Pasuquin, A. Johnston, and M.J. Fisher. 2012. Development approach and evaluation of the Nutrient Expert software for nutrient management in cereal crops. *Comput. Electron. Agr.* 88:103-110.

Перевод с английского: В.В. Носов – региональный директор Международного института питания растений по Югу и Востоку России, к.б.н.

# Калийные удобрения повышают урожайность картофеля в провинции Юньнань (Китай)

М. Йин, Л. Хонг, Ш. Ту

Урожайность картофеля и окупаемость затрат на его выращивание существенно возросли в результате применения калийных удобрений. Однако, отзывчивость картофеля на калийные удобрения на почвах с разным уровнем плодородия, значительно различалась. Показано, что оптимальные дозы калийных удобрений составляют для почвы с высоким и низким уровнем плодородия 270 кг и 135 кг  $K_2O$ /га соответственно. Сроки внесения калийных удобрений должны соответствовать периодам максимального накопления сухого вещества в клубнях, а также активного поглощения калия растениями в фазы интенсивного роста и развития растений.

Картофель – одна из самых распространенных сельскохозяйственных культур в Китае. В провинции Юньнань, расположенной на юго-западе Китая, посевные площади под картофель занимают третье место после кукурузы и риса (703 тыс. га в 2012 г.). Однако, даже в благоприятных климатических условиях средняя урожайность картофеля в этом регионе обычно низка. Применение низких и несбалансированных по составу доз минеральных удобрений, и особенно невнесение калийных удобрений, считаются основными причинами низкой



Поле картофеля.

Место проведения опыта	pH	Органическое вещество (г/кг)	Щелочно-гидролизуемый азот (мг/кг)	Доступный фосфор (мг/кг)	Обменный калий (мг/кг)
Юежоу	5,1	26,2	69,9	12,9	77,8
Донгшан	5,0	44,4	108,4	12,4	105,8

Место проведения опыта	Доза К кг K <sub>2</sub> O/га	Урожайность кг/га	Прибавка урожая от К	
			кг/га	%
Юежоу	0	10830 с	–	–
	135	12205 b	1375	12,70
	270	12585 b	1755	16,20
	405	13140 a	2310	21,33
Донгшан	0	21135 с	–	–
	135	27225 b	6090	28,81
	270	32715 a	11580	54,79
	405	28050 b	6915	32,72

урожайности и плохого качества картофеля (Duan et al., 2013). В связи с этим, в 2012 г. стартовал научный проект, основной целью которого стало изучение влияния различных доз калийных удобрений на урожайность картофеля и определения оптимальной дозы калийного удобрения для производства картофеля в регионах, где проводились исследования. Опыты были заложены на красноземах с различным уровнем плодородия (продуктивности) в двух регионах: районы Юежоу и Донгшан в округе Цюйцзин провинции Юньнань. В Юежоу краснозем с низким уровнем плодородия характеризовался низким содержанием органического вещества, а также недостаточным содержанием азота и обменного калия в почве. В Донгшане краснозем с относительно высоким уровнем плодородия характеризовался достаточным уровнем содержания органического вещества, азота и обменного калия (табл. 1).

Исследование проводилось с использованием рандомизированной полноблочной схемы опыта, включающей 4 дозы калийных удобрений (0, 135, 270 и 405 кг K<sub>2</sub>O/га) в трех повторностях. В каждом варианте в качестве фона вносили азотные и фосфорные удобрения в дозах 150 кг N/га и 90 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/га. Размер опытной делянки составлял 20 м<sup>2</sup> (4×5 м). В качестве азотных удобрений использовали мочевины (46% N),



Сомкнувшиеся рядки картофеля.

фосфорных – простой суперфосфат (12% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и калийных – хлористый калий (60% K<sub>2</sub>O). Азотные и калийные удобрения вносили в два приема: под основную обработку (50%) и в качестве подкормки в период интенсивного роста клубней. Фосфорные удобрения вносили в один прием под основную обработку. В качестве опытной культуры использовали сорт картофеля Hezuo 88, посев проводили в марте, а уборку – в середине августа 2012 г.

Картофель выращивали в условиях естественного увлажнения без дополнительного полива в течение всего вегетационного сезона. В каждой фазе развития картофеля отбирали растительные пробы для оценки накопления сухой биомассы, а также поглощения калия ботвой и клубнями. При уборке собирали отдельно ботву и клубни с каждого варианта и взвешивали. В растительных пробах определяли поглощение питательных элементов и ботвой, и клубнями. Далее вычисляли эффективный коэффициент использования калия из удобрений и окупаемость удобрений.

### Влияние калийных удобрений на урожайность картофеля

Различия в уровне плодородия почвы оказывали существенное влияние на урожайность картофеля (табл. 2). В Донгшане на красноземе с относительно высоким уровнем плодородия урожайность картофеля превышала его урожайность на низкоплодородной почве в Юежоу вдвое и более, независимо от внесенных доз калийных удобрений. В Юежоу на низкоплодородном красноземе урожайность картофеля значительно возрастала с увеличением доз калийных удобрений, не достигая предела. При этом прибавка урожая от калия составляла от 12,70 до 21,33%. В Донгшане на высокоплодородном красноземе, урожайность картофеля также значительно возрастала с увеличением доз калийных удобрений, однако достигнув максимума при дозе 270 кг K<sub>2</sub>O/га, она начала снижаться при дальнейшем росте дозы вносимого удобрения. При этом прибавка урожая от калия составляла от 28,81 до 54,79%, что значительно превышало результаты, полученные на низкоплодородной почве. На высокоплодородном красноземе при дозе K удобрения 270 кг K<sub>2</sub>O/га урожайность картофеля достигла 32715 кг/га, что было в 2,6 раза больше, чем при этой же дозе на низкоплодородной почве. Кривая отзывчивости картофеля на возрастающие дозы калийных удобрений на высокоплодородной почве имела типичный вид (Karam et al., 2009); на низкоплодородной почве ее форма была менее обычной, однако аналогичные кривые отзывчивости были также получены другими исследователями и представлены в публикациях (Kelling et al., 2002; Singh and Lal, 2012). Полученные результаты показывают, что урожайность картофеля на низкоплодородной

**Таблица 3.** Накопление биомассы картофеля в разные фазы роста и развития при внесении различных доз калийных удобрений

Место проведения опыта	Доза К, кг K <sub>2</sub> O/га	Всходы		Образование клубней		Рост клубней		Накопление крахмала		Уборка урожая	
		Ботва	Клубни*	Ботва	Клубни*	Ботва	Клубни	Ботва	Клубни	Ботва	Клубни
		kg/ha									
Юежоу	0	139,95	18,00	627,15	18,00	758,70	722,70	940,80	1344,00	1083,00	2166,00
	135	139,95	13,05	750,15	13,05	882,15	868,05	1115,10	1607,40	1220,55	2440,95
	270	145,05	18,00	758,40	18,00	916,20	970,20	1137,60	1698,00	1358,55	2517,00
	405	145,05	15,00	762,30	15,00	966,75	982,35	1234,95	1762,05	1314,00	2628,00
Донгшан	0	241,95	63,90	919,95	63,90	1030,20	1204,95	1398,15	3856,65	1568,10	4327,05
	135	235,95	63,90	940,05	63,90	1320,30	1249,95	1783,50	4441,65	1833,45	5545,05
	270	241,95	58,65	960,00	58,65	1458,15	1414,95	2130,45	4788,30	2233,50	6544,05
	405	240,00	63,90	1000,05	63,90	1407,15	1530,00	2209,05	4983,30	2283,00	5910,00

\* Биомасса клубней и корневой системы

**Таблица 4.** Поглощение калия в разные фазы роста и развития картофеля в зависимости от доз калийных удобрений

Место проведения опыта	Доза К, кг K <sub>2</sub> O/га	Всходы		Образование клубней		Рост клубней		Накопление крахмала		Уборка урожая	
		кг/га	г/га в день	кг/га	г/га в день	кг/га	г/га в день	кг/га	г/га в день	кг/га	г/га в день
Юежоу	0	7,04	0,12	25,35	1,41	21,98	1,05	26,15	1,87	6,08	0,23
	135	7,20	0,12	33,72	1,87	26,74	1,27	35,72	2,55	1,41	0,05
	270	7,71	0,13	34,4	1,91	28,51	1,36	39,11	2,79	10,19	0,38
	405	8,1	0,14	35,31	1,96	31,57	1,50	45,50	3,25	3,35	0,12
Донгшан	0	12,17	0,22	36,61	1,74	31,89	2,13	100,67	6,71	0,12	0,01
	135	12,14	0,22	40,83	1,94	46,74	3,12	132,44	8,83	1,71	0,12
	270	12,86	0,23	41,75	1,99	53,69	3,58	155,02	10,33	1,52	0,11
	405	12,74	0,24	45,93	2,16	53,65	3,58	168,62	11,24	0,04	0

почве не может достичь аналогичного уровня на высокоплодородной почве при внесении только калийных удобрений. Очевидно, что существуют другие ограничивающие урожайность факторы, кроме недостатка калия, которые требуют дальнейшего исследования. Таким образом, для низкоплодородного краснозема оптимальная доза калийных удобрений под картофель составляет 135 кг K<sub>2</sub>O/га, поскольку внесение более высоких доз дает малый или нулевой экономический эффект, несмотря на рост урожайности (табл. 3).

### Накопление биомассы в разные фазы роста и развития картофеля

Данные, приведенные в табл. 3, показывают отчетливые тренды в накоплении биомассы ботвы и клубней в течение всего жизненного цикла картофеля в обоих районах исследований. Период максимального накопления биомассы надземной части растений включал фазы образования клубней и накопления крахмала, а у клубней - фазы активного роста клубней и уборку урожая. В периоды максимального накопления биомасса и ботвы, и клубней возрастала с ростом дозы калийных удобрений. Содержание сухого вещества в растениях, выращенных в Донгшане, существенно превышало (до двух раз) величины, полученные в Юежоу. Для лучшего удовлетворения потребности картофеля в питательных веществах, необходимых для быстрого роста и развития клубней, калийные удобрения следует применять с учетом

периодов активного накопления биомассы - в фазы всходов и образования клубней (Guo et al., 2011).

### Накопление калия в тканях в разные фазы роста и развития картофеля

Быстрое накопление калия происходило в период, включающий фазы образования клубней и накопления крахмала, достигая максимальных величин в фазе накопления крахмала, составлявших 26,15–45,50 и 100,67–168,62 кг/га в Юежоу и Донгшане соответственно (табл. 4). Эти значения были значительно выше полученных данных о накоплении азота и фосфора в фазу накопления крахмала (данные не приводятся), потому что потребность картофеля в калии



Делянки опыта

**Таблица 5.** Экономическая эффективность применения различных доз калийных удобрений в двух районах

Место проведения опыта	Доза К, кг К <sub>2</sub> O/га	Урожайность, кг/га	Доход				Рост прибыли от К, %
			Затраты	Чистая прибыль	долл. США/га		
Юежоу	0	10830	2130,49	256,60	1873,89	-	
	135	12205	2400,98	420,49	1980,25	5,68	
	270	12585	2475,74	584,88	1890,86	0,91	
	405	13140	2585,90	749,02	1835,90	-2,03	
Донгшан	0	21135	4157,70	256,60	4144,55	-	
	135	27225	5355,74	420,49	4935,00	19,07	
	270	32715	6438,20	584,88	5852,88	41,22	
	405	28050	5518,03	749,02	4769,02	15,07	

**Таблица 6.** Эффективный коэффициент использования калия из удобрений и агрономическая эффективность применения различных доз калийных удобрений

Место проведения опыта	Доза К, кг К <sub>2</sub> O/га	Вынос К (ботва+клубни), кг/га	K <sub>эф</sub> , %	Агрономическая эффективность К, кг/кг
Юежоу	0	87	-	-
	135	103	12,43	10,19
	270	120	12,34	6,50
	405	124	9,19	5,70
Донгшан	0	182	-	-
	135	234	38,81	45,11
	270	265	30,88	42,93
	405	281	24,57	17,07

выше, чем в других основных питательных элементах (Westermann, 2005). В фазу уборки урожая растения картофеля поглощали относительно мало калия. Эти результаты подтверждаются литературными данными (Gao et al., 2003; Lu et al., 2013). Полученные результаты показывают, что фазы быстрого накопления калия соответствуют периодам максимального поглощения калия, когда достаточное калийное питание растений картофеля необходимо как для получения высокого урожая, так и его качества (Guo et al., 2011). Внесение калийного удобрения под картофель после фазы накопления крахмала не дает значительного эффекта. Отсутствие отзывчивости на калийные удобрения, внесенные на более поздних фазах роста и развития картофеля, было описано Kelling et al. (2002).

### Экономическая эффективность применения калийных удобрений

В Юежоу экономически выгодным оказалось внесение калийных удобрений только в дозе 135 кг К<sub>2</sub>O/га, а применение более высоких доз давало незначительный или отрицательный экономический эффект по сравнению с вариантом без внесения калийных удобрений (табл. 5). Однако в Донгшане экономи-

ческая эффективность возростала с ростом доз калийных удобрений, достигая максимума при внесении 270 кг К<sub>2</sub>O/га. Дальнейшее увеличение дозы калийных удобрений приводило к снижению экономической эффективности. Чистый доход, обусловленный применением калийных удобрений в Донгшане, превышал аналогичную величину для Юежоу более, чем вдвое. Дальнейшие исследования показали, что для получения более высокой урожайности картофеля и экономической эффективности от внесенных удобрений на почвах с высоким уровнем плодородия следует применять повышенные дозы калийных удобрений.

### Эффективный коэффициент использования калия из удобрений (K<sub>эф</sub>)\*

Эффективный коэффициент использования К из удобрений и агрономическая эффективность снижались с увеличением дозы калийных удобрений в обоих местах проведения опытов (табл. 6). В Донгшане были получены более высокие значения данных показателей, чем в Юежоу. Обычно эффективный коэффициент использования калия из удобрения на низкоплодородной почве выше, чем на высокоплодородной. Однако опыт в Юежоу дал противоположные результаты. Это значит, что кроме недостатка калия должны быть еще и другие ограничивающие урожайность факторы, негативно влияющие на рост и развитие картофеля, а также снижающие его отзывчивость на внесение калийных удобрений. Кроме того, как указывалось Келлингом с соавт. (Kelling et al. (2002)), погодные условия года выращивания также могут отчасти негативно влиять на отзывчивость картофеля на калийные удобрения на почвах с низким уровнем плодородия.

*Д-р Мей Йин и д-р Лифанг Хонг – профессора Института сельскохозяйственных ресурсов и окружающей среды, Юньнаньской академии сельскохозяйственных наук.*

$$*K_{эф} = \frac{B_y - B_0}{y_d} \cdot 100\%$$

K<sub>эф</sub> – эффективный коэффициент использования элемента питания из удобрения, %

B<sub>y</sub> – вынос элемента питания с урожаем с учетом побочной продукции в варианте с внесением удобрений, кг/га

B<sub>0</sub> – вынос элемента питания с урожаем с учетом побочной продукции в варианте без внесения удобрений, кг/га

y<sub>d</sub> – количество элемента питания, внесенное с удобрениями (доза удобрения), кг д.в./га

Примечание: Название показателя дано переводчиком Ивановой С.Е. Данный коэффициент соответствует коэффициенту использования питательных веществ из удобрений (КИУ), определенного разностным методом с учетом фактического выноса.



Д-р Ту – заместитель регионального директора МИПР по Китаю (программа на Ю-3 Китая), профессор Института почв и удобрений, Сычуанской академии сельскохозяйственных наук, Китай; e-mail: stu@ipni.net

## Литература

Duan, Y., Tuo, D.B., Zhao, P.Y., Li, H.C. and Li, S.T. 2013. Response of potato to fertiliser application and nutrient use efficiency in Inner Mongolia. *Better Crops*, 97(3):24-26.

Gao, J.L., Liu, K.L., Zhang, B.L. and Sheng, J.H. 2003. The patterns of phosphorus and potassium absorption, accumulation and distribution in dryland potato. *Chinese Potato*, 17(6):326-330.

Guo, Z.P., Sang, T.T., Zhu, H.T. and Pan, D. 2011. Effect of applying potassium fertiliser in different growth periods on the yield and the quality of potato. *Hubei Agric. Sci.*, 50 (4):681-682.

Karam, F., Rouphael, Y., Lahoud, R., Breidi, J. and Colla, G. 2009. Influence of genotypes and potassium application rates on yield

and potassium use efficiency of potato. *Journal of Agronomy*, 8(1): 27-32.

Kelling, K.A., Panique, E., Speth, P.E. and Stevenson, W.R. 2002. Effect of potassium rate, source and application timing on potato yield and quality. *Potato Conference, Idaho, USA*.

Lu, J.W., Qiu, H.Z., Zhang, W.M., Wang, D., Zhang, J.L., Zhang, C.H. and Hou, S.Y. 2013. Characteristics of dry matter and potassium accumulation and distribution in potato plant in semiarid rainfed areas. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 24(2):423-430.

Singh, S.K. and Lal, S.S. 2012. Effect of potassium nutrition on potato yield, quality and nutrient use efficiency under varied levels of nitrogen application. *Potato J.*, 39(2):155-165.

Westermann, D.T. 2005. Nutritional requirements of potatoes. *Amer. J. Potato Res.* 82:301-307.

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

# Первые результаты научного проекта по совершенствованию рекомендаций по внесению калийных удобрений в России

С.Е. Иванова, В.А. Романенков, Л.В. Никитина

Уровень использования калийных удобрений – один из показателей интенсивности земледелия. К сожалению, в сельском хозяйстве России за последние 10-15 лет внесение К-удобрений сократилось до 1-2 кг  $K_2O$ /га пашни, ежегодный дефицит калия в среднем по стране варьирует от -16 до -30 кг  $K_2O$ /га (Сычев, Шафран, 2013).

В России в настоящее время калий вносится главным образом в виде сложных удобрений, которые не всегда могут обеспечить сбалансированное калийное питание растений. При постоянном отчуждении калия с урожаем и неполным возвратом элемента с удобрениями происходит медленное, но постоянное снижение содержания доступного калия в почве, уменьшается его подвижность и способность почвы к восстановлению исходного уровня содержания калия в легкодоступной для растений форме, что, в конечном итоге, приводит к недобору урожая и снижению его качества. Кроме этого, при некомпенсируемом отчуждении значительных количеств калия с урожаем сельскохозяйственных культур в почвах появляется повышенная калийфиксирующая способность, в связи с чем внесенный в небольших дозах калий в составе сложных удобрений практически не работает на урожай.

Известно, что благоприятный режим калия в агроэкосистемах – одно из условий их эффективного функционирования. Тем не менее, в настоящее время оптимизации калийного состояния пахотных почв в отечественном земледелии уделяется недостаточно внимания. Такое отношение во многом обусловлено несовершенством существующей диагностики плодородия пахотных почв в отношении калия, которая в немалой степени зависит от используемого

метода определения содержания доступных для растений форм калия в почве. Для более объективного представления об обеспеченности почвы калием предпочтительно использовать сочетание различных методов, что позволит с большей степенью точности предсказать целесообразность внесения калийных удобрений, а также определить научно обоснованные дозы. Поэтому исследование оптимизации доз калийных удобрений, а также проверка диагностических возможностей стандартных методов определения доступных для растений форм калия в почве стали основой совместного научного проекта Международного Института Питания Растений и Всероссийского НИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, стартовавшего осенью 2012 года. Проект направлен на совершенствование рекомендаций по внесению калийных удобрений и корректировке существующих градаций обеспеченности почв калием в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Особенность проекта – комплексный подход, который включает:

- определение влияния калийных удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур при высоком уровне урожайности;
- изучение последствий калийных удобрений, внесенных под наиболее требовательную к калию культуру звена севооборота;
- сопоставление диагностических возможностей стандартных методов определения калия, используемых для оценки плодородия чернозёмных почв;
- оценку баланса и выноса калия в опытах;
- определение экономической эффективности применения калийных удобрений.

Методическая основа проекта – трехлетние произ-

водственные опыты с возрастающими дозами калийных удобрений, вносимых под культуры, имеющие высокие потребности в калии (сахарная свекла, кукуруза на зерно, соя и рапс) и возделываемые по интенсивным технологиям в Центрально-Чернозёмном и Северо-Кавказском регионах. Опыты проводятся в Липецкой, Воронежской, Белгородской и Ростовской областях региональными агрохимслужбами на черноземах выщелоченном (Воронежская обл.), типичном (Белгородская обл., Воронежская обл.), оподзоленном (Липецкая обл.), обыкновенном карбонатном (Ростовская обл.), а также на темно-серой лесной почве (Липецкая обл.). Для участия в проекте были выбраны хозяйства с уровнем урожайности выше среднего по региону. Так, например, для опытов с сахарной свеклой в ЦФО средний уровень урожайности в отобранных хозяйствах превышает 55 т/га. Необходимо отметить, что для такого высокого уровня урожайности научно обоснованной методической основы для определения адекватной дозы калийных удобрений в настоящее время не существует, что делает результаты этого проекта источником уникальной информации, прежде всего, для сельхозпроизводителей, нацеленных на получение высокой урожайности.

После первого года реализации проекта были получены обнадеживающие результаты для всех изученных культур.

В этой статье мы подробно рассмотрим результаты опытов только с сахарной свеклой и кукурузой на зерно, полученные в первый год реализации проекта (осень 2013 г.) в Центрально-Чернозёмном регионе.

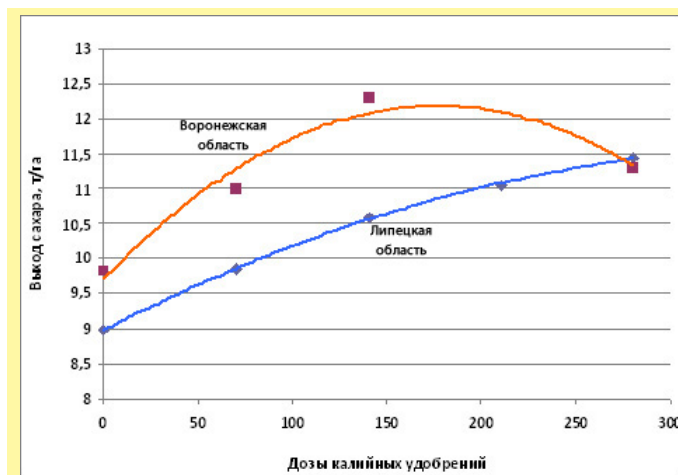
**Сахарная свекла.** Производственные опыты с сахарной свеклой были проведены в Липецкой и Воронежской областях на почвах с повышенным исходным содержанием подвижного калия, определенного по методу Чирикова. Опыты включают следующие варианты: абсолютный контроль (без удобрений), фон – NP в оптимальных дозах для хозяйства, обеспечивающие высокий уровень урожайности (NP), фон +70 кг  $K_2O$ /га (NPK1), фон+140 кг  $K_2O$ /га (NPK2), фон +210 кг  $K_2O$ /га (NPK3), фон +280 кг  $K_2O$ /га (NPK4). Калийные удобрения вносились в виде хлористого калия. Дозы калийных удобрений запланированы с учетом изучения их последствий в двух последующих сезонах вегетации. Технология возделывания свеклы была обычной для каждого хозяйства.

В опытах с сахарной свеклой решалась задача получения не только высокой урожайности корнеплодов, но и достаточного уровня содержания сахара в корнеплодах (не менее 14%).

В опыте, проводимом в Воронежской области, при внесении калийных удобрений был достигнут высокий уровень урожайности (более 80 т/га), при сохранении уровня содержания сахара более 14%. Максимальная урожайность корнеплодов и сбор сахара получены при дозе калийных удобрений 140 кг  $K_2O$ /га, прибавка урожайности корнеплодов по сравнению с фоном (NP) составила 14 т/га или 21%. Калийные удобрения повышали не только урожайность корнеплодов, но и содержание в них сахара. Сбор сахара с гектара возрос на 2.5 т/га, что составляет более высокую прибавку урожая от внесенного

**Таблица 1.** Урожайность и сбор сахара в опытах с сахарной свеклой

Показатель	Урожайность	Сбор	Урожай-	Сбор
	корнепло-	сахара,	ность корне-	сахара,
	дов, т/га	т/га	плодов, т/га	т/га
Регион	Воронежская область		Липецкая область	
Урожайность в варианте NP (фон)	66.21	9.82	56.91	8.97
Максимальная урожайность в вариантах с калием (NPK)	80.39	12.30	69.31	11.44
Прибавка от K при максимальной урожайности	14.18	2.48	12.40	2.47
НСР <sub>05</sub>	9,59		1,16	



**Рис. 1.** Влияние доз калийных удобрений на сбор сахара в опытах 2013. Графики: оранжевый - Воронежская область, синий – Липецкая область.

калия – 25% (табл.1 и рис.1).

Сравнение экономической эффективности показало, что при достижении максимальной урожайности (80 т/га) рост рентабельности по сравнению с фоном составил 34%, что позволило получить чистый доход 22 тыс. руб./га при снижении себестоимости на 130 руб. с 1 т продукции (табл. 2).

В опыте, проводимом в Липецкой области, достигнутая максимальная урожайность корнеплодов сахарной свеклы была несколько ниже, чем в Воронежской области – около 57 т/га. Достоверная прибавка от внесения разных доз калийных удобрений наблюдалась на всех вариантах с внесением калийных удобрений. Максимальная урожайность корнеплодов и сбор сахара с гектара были достигнуты при внесении 280 кг  $K_2O$ /га. Прибавка урожая корнеплодов от калия составила 12.4 т/га или 22%, а сбор сахара увеличился на 2.5 т/га или 28% к фону.

Сравнение экономической эффективности показало, что при достижении максимальной урожайности (57 т/га) рост рентабельности по сравнению с внесением только азотных и фосфорных удобрений (фон – NP) составил 23%, что позволило получить чистый доход 12 тыс. руб./га при снижении себестоимости на 142 руб. с 1 т продукции (табл. 2).

В опытах в Воронежской области дополнительно изучали динамику содержания сахара в корнеплодах в процессе вегетации сахарной свеклы до уборки урожая осенью 2013 года. В этот сезон в Воронежской области был продолжительный период с обильными

**Таблица 2.** Экономическая эффективность применения калийных удобрений по сравнению с фоном (NP).

Вариант опыта	Относительное изменение рентабельности, %	Рост чистого дохода от калия, руб/га	Относительное изменение рентабельности, %	Рост чистого дохода от калия, руб/га
Воронежская область, сахарная свекла		Липецкая область, сахарная свёкла		
НРК1	14	10 619	10	5 298
НРК2	34	22 297	16	8 757
НРК3	16	11 874	20	10 774
НРК4	17	12 701	23	12 401
Белгородская область, кукуруза на зерно		Воронежская область, кукуруза на зерно		
НРК1	10	2 344	2	2 111
НРК2	7	2 763	27	7 974
НРК3	5	3 182	-9	3 184
НРК4	1	3 335	-37	-534

Примечание: Фактическая себестоимость определена с учетом цены на закупку калийных удобрений 7 700 рублей за 1 тонну хлористого калия в физическом весе

осадками (практически весь сентябрь), что не позволило сельхозпроизводителям своевременно убрать сахарную свеклу. Каждую декаду, начиная с 7 августа, проводилось определение содержания сахара в корнеплодах во всех вариантах опыта. Анализ динамики накопления сахара показал, что в конце августа в вариантах с внесением хлористого калия по сравнению с фоном содержание сахара было выше на 0.2-0.9%, а к концу сентября резко снизилось на 1.9-2.9% (табл.3), оставаясь на приемлемом для сельхозпроизводителей уровне (выше 14%). Снижение содержания сахара произошло в течение сентября за счет интенсивного роста сахарной свеклы в период обильных осадков.

Макимально высокое содержание сахара в корнеплодах было зафиксировано в конце августа (27 августа) в варианте с внесением 280 кг  $K_2O$ /га. В сен-

**Таблица 3.** Динамика содержания сахара в корнеплодах сахарной свеклы, (%).

Вариант опыта	Дата измерения содержания сахара в корнеплодах			
	7.08.13	27.08.13	11.09.13	26.09.13
Контроль	15.1	16.1	14.0	14.3
Фон NP	15.6	16.6	13.5	14.7
Фон+K140	14.6	16.8	13.7	14.9
Фон+K280	15.7	17.5	12.2	14.6

**Рис. 2.** Сахарная свекла, производственный опыт, Воронеж, 2013.

тябре рост сахарной свёклы привёл к снижению различий между вариантами по накоплению сахара, что обусловило максимальный выход сахара в момент уборки (начало октября) в варианте с внесением более низкой дозы калийных удобрений (140 кг  $K_2O$ /га).

Полученные данные позволяют сделать важный практический вывод о том, что внесение калийных удобрений позволяет достигнуть содержания сахара в корнеплодах более 16% даже при высоком уровне урожайности. Таким образом, погодные условия года и сроки уборки – важные факторы, оказывающие влияние на содержание сахара в корнеплодах в момент уборки урожая, и это необходимо учитывать при планировании работ.

**Кукуруза на зерно.** Опыты с кукурузой включали следующие варианты: абсолютный контроль (без удобрений), фон (NP) – азотные и фосфорные удобрения в оптимальных дозах для хозяйства, обеспечивающие высокий уровень урожайности, фон + 4 возрастающие дозы калийных удобрений (60-280 кг  $K_2O$ /га).

В опыте с кукурузой на зерно в Воронежской области максимальная урожайность (9.4 т/га) была достигнута в варианте с внесением 120 кг  $K_2O$ /га. При этом прибавка урожая от калия составила 1.9 т/га или 25% по сравнению с внесением только азотных и фосфорных удобрений (табл. 4). Таким образом, каждый внесенный килограмм  $K_2O$  обеспечил получение дополнительных 7 кг зерна кукурузы. При этой же дозе калийных удобрений были достигнуты лучшие пока-

**Таблица 4.** Урожайность кукурузы на зерно в Воронежской области

Варианты опыта	Доза калийных удобрений, кг $K_2O$ /га	Урожайность, т/га	Прибавка урожая от калия, т/га
Без удобрений	-	9.1	-
NP	-	9.8	-
НРК1	60	10.2	0.4
НРК2	120	11.2	1.4
НРК3	180	10.6	0.8
НРК4	240	10.2	0.4
НСР <sub>05</sub>		0,93	

**Таблица 5.** Урожайность кукурузы на зерно в Белгородской области

Варианты опыта	Доза калийных удобрений, кг $K_2O$ /га	Урожайность, т/га	Прибавка урожая от калия, т/га
Без удобрений	-	6.4	-
NP	-	7.5	-
NPK1	70	8.4	0.9
NPK2	140	8.7	1.2
NPK3	210	9.1	1.6
NPK4	280	9.4	1.9
HCP <sub>05</sub>		1,2	



затели по экономической эффективности применения удобрений: рентабельность увеличилась на 27%, а рост чистого дохода составил 7974 руб./га, при этом себестоимость продукции снизилась на 70 руб. с 1 т зерна (табл. 2).

В опыте с кукурузой на зерно в Белгородской области максимальная урожайность (9.1 т/га) была достигнута в варианте с внесением 280 кг  $K_2O$ /га. При этом прибавка урожая от калия составила 0.9 т/га или 12% относительно варианта с внесением только азотных и фосфорных удобрений (табл.5).

Таким образом, каждый внесенный килограмм  $K_2O$

обеспечил получение дополнительных 3 кг зерна кукурузы. При этой же дозе калийных удобрений были достигнуты лучшие показатели по экономической эффективности применения удобрений: рентабельность увеличилась на 10%, а рост чистого дохода составил 3300 руб./га, при этом себестоимость продукции снизилась на 100 руб. с 1 т зерна (табл. 2).

Обобщая первые результаты опытов с сахарной свеклой и кукурузой на зерно, можно сделать практический вывод о том, что полученное значимое увеличение урожайности во всех вариантах с внесением калийных удобрений по сравнению с фоном (NP), свидетельствует о значительном недоборе урожая при невнесении калийных удобрений даже на почвах с повышенной и высокой обеспеченностью калием.

*Иванова С.Е.- кандидат биологических наук, вице-президент Международного Института Питания Растений по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку. e-mail: sivanova@ipni.net.*

*В.А. Романенков - доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский НИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, 127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а. e-mail: viua@online.ru.*

*Никитина Любовь Васильевна - Всероссийский НИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, 127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а. e-mail: kalinik@bk.ru.*

## Литература

*Сычев В.Г., Шафран С.А. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. М: ВНИИА, 2013. - 296 с.*

*С.Е. Иванова - к.б.н., вице-президент Международного Института Питания Растений в Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку.*

*В.А. Романенков - д.б.н., ведущий научный сотрудник НИИА имени Д.Н. Прянишникова*

*Л.В. Никитина - к.б.н., ведущий научный сотрудник НИИА имени Д.Н. Прянишникова*

## Эффективность применения калийных удобрений в Поволжье

Носов В.В., Исмагилов Р.Р. и Гайфуллин Р.Р.

*Обобщены данные по отзывчивости сельскохозяйственных культур на применение калийных удобрений на основных типах почв Приволжского федерального округа. Показано, что внесение калия непосредственно под зерновые культуры эффективно как при низкой и средней обеспеченности почв подвижным калием, так и при более высоких классах обеспеченности.*

В данном обзоре обобщаются результаты полевых опытов по изучению эффективности калийных удобрений (хлористого калия), проведенных в разных регионах Приволжского федерального округа (ПФО). Мы использовали наиболее современные данные, чтобы было максимальное соответствие возделываемым в настоящее время сортам и гибридам сельскохозяйственных культур, а также состоянию почвенного плодородия по калию. Применение калийных удобрений

в сельхозпредприятиях региона в последние годы составляет около 4 кг  $K_2O$ /га посевной площади (РОССТАТ, 2013), то есть земледелие ведется в основном за счет истощения почвенных резервов калия. При этом примерно 1/3 калийных удобрений, применяемых сельхозпредприятиями ПФО, вносится в Республике Татарстан, на которую приходится лишь около 15% посевных площадей округа. Подобный подход, заключающийся в сбалансированном питании сельскохозяйственных

**Таблица 1.** Эффективность калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах ПФО.

Культура	Гранулометрический состав почвы	Обеспеченность почвы подвижным К (по Кирсанову)	Вариант опыта	Урожайность, т/га	Прибавка от К, %	Источник	
Ячмень			N <sub>60</sub> P <sub>120</sub>	1.73	-		
			+ K <sub>60</sub>	2.11	22		
			+ K <sub>120</sub>	2.28	32		
Овес (с подсев. клевера)	Супесь	Низкая – средняя**	N <sub>60</sub> P <sub>120</sub>	2.56	-	Беляев, 2005	
			+ K <sub>60</sub>	2.95	15		
			+ K <sub>120</sub>	3.24	27		
Яровая пшеница			N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>	1.61	-		
			+ K <sub>60</sub>	1.82	13		
Ячмень	Супесь	Средняя – повышенная	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub>	2.41	-	Алметов и др., 2012	
			+ K <sub>60</sub>	2.81	17		
	Легкий суглинок		N <sub>60</sub> P <sub>90</sub>	3.39	-		
			+ K <sub>60</sub>	3.62	7		
	Средний суглинок	Средняя	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub>	2.62	-		
			+ K <sub>90</sub>	3.19	22		
Ячмень	Средний суглинок	Повышенная - высокая	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>	3.28	-	Пасынков, 2002	
			+ K <sub>180</sub>	3.60	10		
Озимая рожь			N <sub>47</sub> P <sub>46</sub> *	3.90	-		
			+ K <sub>46</sub> *	4.19	7		
Кукуруза (зеленая масса)			N <sub>47</sub> P <sub>46</sub> *	35.8	-		
			+ K <sub>46</sub> *	36.9	3		
Яровая пшеница	Средний суглинок	Средняя	N <sub>47</sub> P <sub>46</sub> *	1.78	-	Башков и Дзюин, 2006	
				+ K <sub>46</sub> *	2.01		13
Клевер 1 г.п. (сено)				N <sub>47</sub> P <sub>46</sub> *	5.67		-
			+ K <sub>46</sub> *	5.80	2		
Клевер 2 г.п. (сено)			N <sub>47</sub> P <sub>46</sub> *	6.61	-		
			+ K <sub>46</sub> *	6.70	1		
Ячмень			N <sub>47</sub> P <sub>46</sub> *	3.69	-		
			+ K <sub>46</sub> *	4.27	16		
Клевер 1 г.п. (зеленая масса)	Средний суглинок	Высокая	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	59.6	-	Башков и Мясников, 2005	
			+ K <sub>30</sub>	63.6	7		
Ячмень			N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>	3.09	-		
			+ K <sub>90</sub>	3.23	5		
Яровая пшеница	Тяжелый суглинок	Средняя –повышенная	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>	2.08	-	Алешин, 2011	
				+ K <sub>90</sub>	2.05		-1
Овес			N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>	3.51	-		
			+ K <sub>90</sub>	3.59	2		

\* Приведены средние дозы на 1 га севооборотной площади, и урожайность культур усреднена для двух фонов (навоз и навоз + известь).

\*\* Диапазон содержания обменного калия (по методу Масловой): 53-110 мг К<sub>2</sub>О/кг почвы.

культур, позволяет стабильно получать хорошие урожаи и сохранять почвенное плодородие.

Как известно, картофель и сахарная свекла относятся к наиболее калиелюбивыми культурам. Например, прибавка урожайности клубней картофеля на черноземе выщелоченном в Республике Башкортостан при средней обеспеченности подвижным калием достигала 54% за счет внесения 200 кг К<sub>2</sub>О/га (Исмагилов и Юсупов, 2008). При этом высокие дозы хлористого калия способствовали повышению содержания крахмала в клубнях – на 0.2-0.3%. В Нижегородской области даже при очень высокой обеспеченности чернозема выщелоченного подвижным калием прибавка урожайности корнеплодов сахарной свеклы в результате внесения 180 кг К<sub>2</sub>О/га достигала 26%, а

сахаристость возрастала на 1.1% (Тюрникова, 2001). Лен – это тоже калиелюбивая культура, хорошо отзываемая на применение калийных удобрений. Так, в вышеуказанном регионе прибавка урожайности льно-соломки на светло-серой лесной почве с высокой обеспеченностью подвижным калием достигала 26% при внесении 120 кг К<sub>2</sub>О/га (Тюрникова, 2001). Однако в данном обзоре мы обобщили в основном результаты полевых опытов по применению калийных удобрений под зерновые, а также крупяные (гречиха) и кормовые (многолетние травы, кукуруза на силос) культуры, поскольку высокая отдача от внесения калия под картофель, сахарную свеклу и лен достаточно очевидна. Для полевых опытов, в которых изучалось несколько возрастающих доз калийных удобрений, мы включи-

ли наиболее оптимальные варианты – с максимальной прибавкой урожайности от калия.

## Дерново-подзолистые почвы

Высокая эффективность калийных удобрений наблюдается в нечерноземных регионах, где распространены дерново-подзолистые почвы, особенно супесчаного гранулометрического состава (табл. 1). Они недостаточно обеспечены доступным для растений калием. Например, в краткосрочных опытах, проведенных на супесчаных почвах в Пермском крае, урожайность ячменя повышалась на 32% в результате внесения 120 кг  $K_2O$ /га (Беляев, 2005). В целом, ячмень хорошо отзывается на применение калийных удобрений по сравнению с другими зерновыми культурами (Прокошев и Дерюгин, 2000). Обобщение результатов опытов, проведенных в Республике Марий Эл на разных по гранулометрическому составу почвах, также свидетельствует о высокой отдаче при внесении калийных удобрений под ячмень (Алметов и др., 2012). При этом содержание подвижного калия в почвах варьировало от среднего до повышенного уровня. Однако даже на среднесуглинистых почвах с повышенной и высокой обеспеченностью подвижным калием средняя прибавка урожайности ячменя при внесении высокой дозы калия (180 кг  $K_2O$ /га) составила 10% (Пасынков, 2002). Указанные краткосрочные опыты проводились в Кировской области с разными сортами пивоваренного ячменя.

Интересно проанализировать данные, полученные за 4-ю ротацию зернотравяного севооборота в многолетнем опыте в Удмуртской Республике (Башков и Дзюин, 2006). Почва – среднесуглинистая со средней обеспеченностью подвижным калием. В указанном опыте наблюдалась более высокая отзывчивость ячменя, а также яровой пшеницы на применение калийных удобрений – прибавка урожайности у данных культур составила 13-16%. У озимой ржи, развивающей более мощную и глубоко проникающую корневую систему, прибавка урожайности от калия была заметно ниже (7%). Кормовые культуры (клевер на сено и кукуруза

на зеленую массу) практически не отзывались на применение калийных удобрений в данном опыте. В тоже время, при возделывании клевера на зеленую массу на почве с более высоким содержанием подвижного калия (однолетний опыт в том же регионе) была получена существенная прибавка урожайности от калия (Башков и Мясников, 2005).

В краткосрочных опытах на тяжелосуглинистых почвах Пермского края при средней – повышенной обеспеченности подвижным калием заметная прибавка урожайности зерна (5%) была получена только при внесении калия под ячмень по сравнению с другими зерновыми культурами (Алешин, 2011). По-видимому, на таких почвах лучше вносить калийные удобрения под наиболее калиелюбивые культуры в севообороте с учетом последствия на зерновых культурах.

## Серые лесные почвы

На серых лесных почвах ПФО в последние годы было проведено сравнительно небольшое количество полевых опытов, где изучалась отзывчивость зерновых, крупяных и кормовых культур на применение калийных удобрений. В табл. 2 обобщены результаты многолетнего полевого опыта, который проводился на светло-серой лесной легкосуглинистой почве в Нижегородской области (Титова и др., 2005). Содержание подвижного калия в почве – повышенное. Следует подчеркнуть повышение отдачи от применения калийных удобрений под озимую пшеницу и клевер на известкованном фоне – прибавка урожайности данных культур от калия возрастала соответственно с 8 до 12% и с 8 до 11% по сравнению с неизвесткованным фоном. Ячмень в целом лучше отзывался на внесение калия в почву – усредненная для двух фонов прибавка урожайности составила 13%.

При внесении калийных удобрений в запас их доза должна быть достаточной, чтобы обеспечить потребности в калии двух и более культур. Так, оптимизация питания яровой пшеницы калием в краткосрочном полевом опыте, проведенном в вышеуказанном регионе также на светло-серой лесной легкосуглинистой

Таблица 2. Эффективность калийных удобрений на серых лесных почвах ПФО.

Культура	Подтип почвы	Обеспеченность почвы подвижным К (по Чирикову)	Вариант опыта	Урожайность, т/га	Прибавка от К, %	Источник
Озимая пшеница	Светло-серая лесная	Повышенная	$N_{50}P_{50}^*$	2.99	-	Титова и др., 2005
			$+K_{50}^*$	3.29	10	
$N_{50}P_{50}^*$			2.89	-		
$+K_{50}^*$			3.27	13		
Клевер (сено)			$N_{50}P_{50}^*$	3.34	-	
			$+K_{50}^*$	3.67	10	
Яровая пшеница	Светло-серая лесная	Высокая	$N_{30}P_{60}^{**}$	2.04	-	Тюрникова, 2001; Тюрникова и др., 2011
			$+K_{90}^{**}$	2.32	14	
			$+K_{120}^{**}$	2.44	20	
Яровая пшеница	Серая лесная	Очень высокая	$N_{60}P_{60}$	1.61	-	Гарифуллин и др., 2003
			$+K_{60}$	1.62	1	
Гречиха	Серая лесная	-	$N_{50}P_{50}K_{20}$	1.57	-	Дашкина и Четчина, 2010
			$N_{50}P_{50}K_{40}$	1.91	22	

\* Приведены средние дозы на 1 га севооборотной площади, и урожайность культур усреднена для двух фонов (без известки и с известью).

\*\* Последствие удобрений, внесенных под предшественник (лен).

почве, наблюдалась при внесении под предшественник (лен) 120 кг К<sub>2</sub>O/га (Тюрникова, 2001). Прибавка урожайности зерна в результате последствия калия составила 20%. При этом почва имела высокое содержание подвижного калия.

На серой лесной тяжелосуглинистой почве с очень высокой обеспеченностью подвижным калием яровая пшеница не отзывалась на применение калийных удобрений (Гарифуллин и др., 2003). Опыты проводились в Республике Башкортостан. В табл. 2 приведена средняя урожайность для 2-х изученных глубин вспашки. Однако следует отметить невысокий достигнутый уровень урожайности в данных исследованиях, и, соответственно, низкую потребность растений в элементах питания.

Краткосрочные опыты, проведенные на серой лесной тяжелосуглинистой почве в Республике Татарстан, свидетельствуют о высокой отзывчивости гречихи на улучшение условий питания растений калием (Дашкина и Четкина, 2010). Средняя за годы исследований прибавка урожайности от внесения двойной дозы калия (40 кг К<sub>2</sub>O/га) составила 22% по сравнению с одинарной дозой.

## Черноземы

В целом, выявляется снижение отдачи от применения калийных удобрений под зерновые культуры от черноземов выщелоченных к черноземам обыкновенным (табл. 3). Очень высокая прибавка урожайности яровой пшеницы от калия (45%) была получена в од-

нолетнем опыте, проведенном в Республике Башкортостан на черноземе выщелоченном с повышенным содержанием подвижного калия (IPNI-Башкирский ГАУ, 2011: неопубл. данные). В то же время содержание обменного калия (по Масловой) было низким. По-видимому, стандартный метод анализа на содержание подвижного калия не позволил адекватно охарактеризовать обеспеченность почвы доступным для растений калием. В других краткосрочных опытах, которые проводились на черноземах выщелоченных в том же регионе, прибавка урожайности яровой пшеницы от калия составила 10% в среднем для 3-х изученных глубин вспашки (Гарифуллин и др., 2003).

Краткосрочный опыт по изучению внесения калийных удобрений в запас, проведенный в Нижегородской области на черноземе выщелоченном с очень высокой обеспеченностью подвижным калием, показал, что оптимизация питания яровой пшеницы калием наблюдается при внесении 180 кг К<sub>2</sub>O/га под такой калиелюбивый предшественник, как сахарная свекла (Тюрникова, 2001). Прибавка урожайности зерна при этом достигала 21%.

Внесение хлористого калия весной под предпосевную культивацию вызвало снижение урожайности гречихи (Нарушева и Юрченко, 2006). Указанные краткосрочные опыты проводились в Саратовской области на черноземе выщелоченном. Гречиха чувствительна к хлору, поэтому хлорсодержащие калийные удобрения под эту культуру необходимо вносить с осени для вымывания хлора за пределы корнеобитаемого слоя почвы к началу вегетационного сезона

**Таблица 3.** Эффективность калийных удобрений на черноземных почвах ПФО.

Культура	Подтип почвы	Обеспеченность почвы подвижным К (по Чирикову)	Вариант опыта	Урожайность, т/га	Прибавка от К, %	Источник
Яровая пшеница	Чернозем выщелоченный	Повышенная	N <sub>150</sub> P <sub>25</sub>	2.40	-	IPNI-Башкирский ГАУ, 2011 (неопубл. данные)
			+ K <sub>28</sub>	3.49	45	
Яровая пшеница	Чернозем выщелоченный	-	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>	1.67	-	Гарифуллин и др., 2003
			+ K <sub>60</sub>	1.84	10	
Яровая пшеница	Чернозем выщелоченный	Очень высокая	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> *	2.23	-	Тюрникова, 2001; Тюрникова и др., 2011
			+ K <sub>120</sub> *	2.49	12	
Гречиха	Чернозем выщелоченный	-	N <sub>45</sub> P <sub>45</sub>	1.65	-	Нарушева и Юрченко, 2006
			+ K <sub>30</sub>	1.59	-4	
Озимая пшеница	Чернозем типичный	Высокая	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>	3.24	-	Несмеянова и др., 2008
			+ K <sub>30</sub>	3.37	4	
Ячмень			+ K <sub>60</sub>	3.46	7	
			N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>	2.41	-	
Озимая пшеница			+ K <sub>30</sub>	2.57	7	Несмеянова и др., 2010
			N <sub>70</sub> P <sub>70</sub> **	3.99	-	
Яровая пшеница	Чернозем обыкновенный	Высокая***	+ K <sub>35</sub> **	4.11	3	Чичкин, 2003
			N <sub>70</sub> P <sub>70</sub> **	2.14	-	
Кукуруза (зерно)			+ K <sub>35</sub> **	2.21	3	
			N <sub>70</sub> P <sub>70</sub> **	3.84	-	
Ячмень			+ K <sub>35</sub> **	3.87	1	
			N <sub>70</sub> P <sub>70</sub> **	2.70	-	
			+ K <sub>35</sub> **	2.91	8	
			N <sub>70</sub> P <sub>70</sub> **	2.70	-	

\* Последствие удобрений, внесенных под предшественник (сахарная свекла).

\*\* Приведены средние дозы на 1 га севооборотной площади.

\*\*\* Определялось содержание обменного К (по методу Масловой).

(Прокошев и Дерюгин, 2000).

Согласно результатам, полученным в стационарном опыте на черноземе типичном с высокой обеспеченностью подвижным калием, прибавка урожайности озимой пшеницы от калия (60 кг  $K_2O$ /га) составила 7% в среднем за три года исследований (Несмеянова и др., 2008). Исследования проводились в зернопаропропашном севообороте в Самарской области. Аналогичная отзывчивость на калийные удобрения в среднем за 3 ротации севооборота наблюдалась и у ячменя, но при внесении вдвое меньшей дозы калия (Несмеянова и др., 2010).

В том же регионе на черноземе обыкновенном с исходной высокой обеспеченностью обменным калием существенная отдача от калия наблюдалась на ячмене по сравнению с другими зерновыми культурами (Чичкин, 2003). Это следует из анализа усредненных данных за 3 ротации зернопаропропашного севооборота. По данным того же автора, урожайность зерна кукурузы в стационарных опытах возрастала за счет внесения калия в среднем на 2% в условиях без орошения и на 10% – при орошении (Чичкин, 1997). Обеспеченность обыкновенных черноземов обменным калием была повышенной. При выращивании озимой и яровой пшеницы наблюдалось обратное – прибавка урожайности от калия составила 3-7% в условиях без орошения и 2-3% – при орошении. В той же работе отмечено заметное последствие калийных удобрений на люцерне (при орошении). Внесение калия под предшественник люцерны повышало урожайность сена в среднем на 11%.

Необходимо отметить, что при недостаточной обеспеченности почвы доступным для растений калием применение калийных удобрений позволяет повысить устойчивость растений к засушливым условиям, которые часто наблюдаются в степном Поволжье. В этой связи показательны многолетние исследования, проведенные на черноземах южных Саратовской области (Чуб, 1986). При средней обеспеченности почв подвижным калием (по Мачигину) внесение калия повышало урожайность яровой пшеницы во влажные годы в среднем на 5%, а в засушливые – на 9%. На почвах с повышенным содержанием подвижного калия такой разницы не наблюдалось – прибавка урожайности и во влажные, и в засушливые годы составила 5%.

## Заключение

Хорошая отдача от применения калийных удобрений под зерновые культуры в ПФО наблюдается не только при низкой и средней обеспеченности дерново-подзолистых и серых лесных почв, а также черноземов выщелоченных и типичных подвижным калием (согласно общепринятым методам анализа), но и при более высоких классах обеспеченности. При выращивании зерновых культур на тяжелосуглинистых дерново-подзолистых и серых лесных почвах, а также на черноземах обыкновенных и южных лучше вносить калийные удобрения под наиболее калиелюбивые культуры в севообороте с учетом последствия калия.

Носов В.В. – региональный директор по Югу и Востоку России Международного института питания расте-

ний, кандидат биологических наук; e-mail: vnosov@ipni.net.

Исмагилов Р.Р. – заведующий кафедрой растениеводства, кормопроизводства и плодовоовощеводства Башкирского ГАУ, профессор, доктор сельскохозяйственных наук; e-mail: ismagilovr\_bsau@mail.ru.

Гайфуллин Р.Р. – заведующий кафедрой агрохимии, защиты растений и агроэкологии Башкирского ГАУ, доцент, доктор сельскохозяйственных наук; e-mail: gayfullin@bk.ru.

## Литература

РОССТАТ. 2013. <http://www.gks.ru>

Тюрникова Е.Г. 2001. Влияние калийных удобрений на продуктивность льна и сахарной свеклы в условиях Волго-Вятского региона. Автореф. дис.... канд. с.-х. наук. Москва-Немчиновка. 24 с.

Исмагилов Р.Р. и Юсупов А.Ш. 2008. Сорта и удобрения в технологии производства клубней картофеля для переработки. Коньяевские чтения. Екатеринбург: Уральская ГСХА. С. 126-129.

Беляев Г.Н. 2005. Калийные удобрения из калийных солей Верхнекамского месторождения и их эффективность. Пермь: Перм. кн. изд-во. 304 с.

Прокошев В.В. и Дерюгин И.П. 2000. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум. 185 с.

Алметов Н.С., Чернова Л.С. и Завалин А.А. 2012. Плодородие, 3: 2-4.

Пасынков А.В. 2002. Агрохимия, 7: 25-31.

Башков А.С. и Дзюин А.Г. 2006. Урожайность культур севооборота на дерново-подзолистой почве при длительном применении удобрений. В кн.: Научное обеспечение реализации национальных проектов в сельском хозяйстве. Ижевск: Ижевская ГСХА. Т. 1. С. 16-20.

Башков А.С. и Мясников Е.А. 2005. Влияние удобрений на урожайность клевера красного на дерново-подзолистых почвах. В кн.: Адаптивные технологии в растениеводстве. Ижевск: Ижевская ГСХА. С. 65-68.

Алешин М.А. 2011. Эффективность использования калия хлористого электролитного при возделывании пропашных и яровых зерновых культур на дерново-подзолистых почвах Предуралья. Автореф. дис.... канд. с.-х. наук. Пермь. 20 с.

Титова В.И., Варламова Л.Д. и Тюрникова Е.Г. 2005. Нижегородский аграрный журнал, 6 (32): 18-20.

Тюрникова Е.Г., Титова В.И., Ренжина Е.П. и Шафронов О.Д. 2011. Агрохимический вестник, 2: 10-12.

Гарифуллин Ф.Ш., Акбирова Р.А. и Аллаяров Р.Ф. 2003. Эффективность удобрений на фонах различных способов основной обработки. В кн.: Роль средств химизации в повышении продуктивности агроэкосистем. Уфа: Башкирский ГАУ. С. 109-111.

Дашкина Р.Р. и Четчикова Н.В. 2010. Влияние калийных удобрений на рост и развитие гречихи в условиях ООО «Племдело» Тетюшского района Республики Татарстан. В кн.: Актуальные вопросы агрономической науки в современных условиях. М.: РГАЗУ. С. 27-29.

Несмеянова Н.И., Гайнуллин Ф.М. и Казаков В.А. 2008. Известия Самарской ГСХА, 4: 27-29.

Несмеянова Н.И., Калашиник Г.И. и Санин А.А. 2010. Влияние длительного систематического внесения удобрений на урожайность и качество зерна ячменя. В кн.: Состояние и перспек-



тивы агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями. М.: ВНИИА. С. 228-230.

Чичкин А.П. 2003. Агроэкологические проблемы применения удобрений и воспроизводства плодородия почв в Среднем Поволжье. В кн.: Научные основы адаптивных систем земледелия в степных районах Среднего Заволжья. Самара: Изд-во «НТЦ». С. 209-225.

Чичкин А.П. 1997. Факторы эффективности калийных удобрений

в Самарском Заволжье. В кн.: Проблемы земледелия Среднего Поволжья. Самара: Самарский НИИСХ. С. 110-112.

Чуб М.П. 1986. Определение потребности яровой пшеницы в удобрениях в зависимости от погодных факторов и содержания в почве подвижных элементов питания. В кн.: Эффективность удобрений и повышение плодородия почв в засушливом Поволжье. Саратов: НИИСХ Юго-Востока. С. 4-19.

## Оптимальные дозы и сроки проведения листовых подкормок озимой пшеницы калиевой селитрой

Полтораднев М.С., Гребенникова Т.В. и Гржебиш В.

Изучено влияние листовых подкормок раствором  $KNO_3$  на структуру урожая, урожайность и качество зерна озимой пшеницы. Количество листовых подкормок составило от одной до трех, концентрация раствора  $KNO_3$  – от 3 до 7% в зависимости от фазы развития растений. Максимальная урожайность зерна (5.55 т/га) была получена в варианте с проведением трех обработок – при возобновлении весенней вегетации (7% раствор), в фазу выхода в трубку (5% раствор) и в колошение (3% раствор). Прибавка урожайности к контролю при этом составила 30%. Максимальное содержание белка (15.5%) было получено в варианте с проведением одной листовой подкормки при возобновлении весенней вегетации (7% раствор).

Сбалансированное минеральное питание – ключевой фактор формирования высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Оптимизация форм, доз, сроков и способов внесения удобрений повышает экономическую отдачу при возделывании зерновых культур. Большое количество исследований указывает на то, что листовые подкормки азотом и калием повышают урожайность и качество зерна озимой пшеницы (Raun и Johnson, 1999; Emam и Borjian, 2000; Zecevic и др., 2004; El-Abady и др., 2009; Khan и др., 2009; Zheng и др., 2010). Положительные стороны использования листовой подкормки – это повышение потребления элементов питания растениями, а также снижение потерь азота вследствие вымывания и денитрификации (Powlson и др., 1987). Данный способ внесения азота высокоэффективен на зерновых культурах. Листовые подкормки жидкими азотными удобрениями с целью повышения содержания белка в зерне широко практикуются во многих странах мира.

Калиевая селитра ( $KNO_3$ ) служит одновременно источником азота и калия для растений. Она представляет собой кристаллический порошок белого цвета и полностью растворима в воде. Удобрение вносится в растворенном виде с помощью опрыскивателей. В полевых опытах, проведенных Барраклаухом и Хейнесом (Barraclough и Haynes, 1996), озимая пшеница обрабатывалась 2.6% раствором  $KNO_3$  на трех этапах развития: развернутый первый лист, конец колошения и молочная спелость зерна. По ВВСН-шкале (Meier, 2001) это стадии 11, 59 и 71 соответственно. Исследователи не выявили значительного влияния листовых подкормок на урожайность зерна и содержание азота в зерне даже при тройной обработке раствором  $KNO_3$ . Они объяснили этот факт высоким плодородием почвы – хорошей обеспеченностью доступными растениям формами азота и калия. Женг с соавт. (Zheng и др., 2010) в вегетационном опыте получили увеличение массы 1000 зерен и урожайности

зерна озимой пшеницы при обработке 0.01 М раствором  $KNO_3$  в фазу колошения. Однако при этом наблюдалось снижение содержания белка в зерне. Авторы предположили, что это могло быть вызвано солевым стрессом у растений, поскольку они выращивались в условиях засоления (в качестве субстрата исследователи использовали вермикулит с добавлением NaCl). Дас и Саркар (Das и Sarkar, 1981) в полевых опытах установили, что листовая подкормка 0.5% раствором  $KNO_3$  после фазы цветения дает прибавку урожайности зерна и соломы пшеницы.

В странах Восточной Европы подобных работ по изучению эффективности листовых подкормок озимой пшеницы растворами  $KNO_3$  не проводилось. Цель данного исследования – изучение влияния периодичности проведения листовых подкормок и концентрации раствора  $KNO_3$  на урожайность и качество зерна озимой пшеницы, возделываемой на почвах с низким содержанием органического вещества в условиях умеренного климата с высоким количеством осадков и значительным вымыванием элементов питания из почвы. Полевой опыт был проведен в 2009-2010 гг. на Опытной станции «Броды» Познаньского университета естественных наук в 50 км к западу от г. Познань (Польша). Данный регион характеризуется

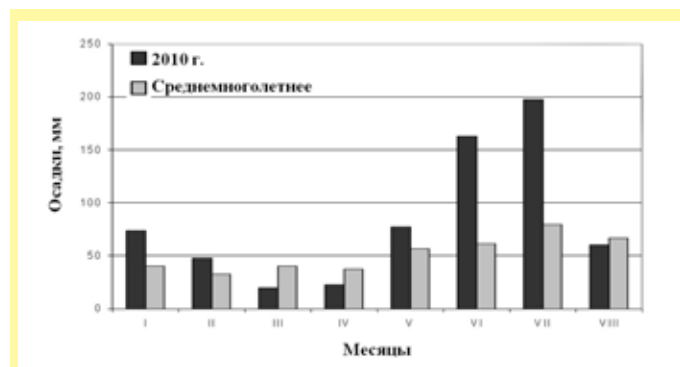


Рис. 1. Динамика осадков в 2010 г. относительно среднемноголетних данных.

**Таблица 1.** Исходная агрохимическая характеристика почвы опытного участка (слой 0-30 см).

pH <sub>KCl</sub>	Гумус, %	Подвижный	Подвижный	Обменный	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>
		P	K	Mg		
мг/кг почвы (в расчете на элемент)						
5.4	2.6	92	168	82	11	45

Примечание: подвижные формы фосфора и калия определялись в вытяжке 0.2 М CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> + 0.2 М CH<sub>3</sub>COOH + 0.1 М 2(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-Ca (лактат Ca) + 0.1 М HCl, обменный Mg – в вытяжке 1.0 М KCl.

**Таблица 2.** Схема полевого опыта.

№	Вариант опыта	Концентрация раствора KNO <sub>3</sub> (%) в зависимости от фазы развития растений		
		ВВВВ (ВВСН 25)	Выход в трубку (ВВСН 31)	Колошение (ВВСН 50)
1	N <sub>70</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub> – фон (контроль)	-	-	-
2	+ 1 обработка (3%)	3	-	-
3	+ 2 обработки (3%+3%)	3	3	-
4	+ 3 обработки (3%+3%+3%)	3	3	3
5	+ 1 обработка (5%)	5	-	-
6	+ 2 обработки (5%+3%)	5	3	-
7	+ 3 обработки (5%+3%+3%)	5	3	3
8	+ 1 обработка (7%)	7	-	-
9	+ 2 обработки (7%+5%)	7	5	-
10	+ 3 обработки (7%+5%+3%)	7	5	3

**Таблица 3.** Влияние листовой подкормки KNO<sub>3</sub> на содержание азота и калия в листьях и стеблях озимой пшеницы (%) при уборке.

Вариант опыта	Листья			Стебли		
	N	K*	K:N	N	K*	K:N
1	1.54	1.18	0.77	0.70	0.82	1.17
2	1.24	1.08	0.87	0.54	0.82	1.52
3	1.21	1.38	1.14	0.77	1.00	1.30
4	1.89	1.26	0.67	0.61	0.91	1.49
5	1.47	1.06	0.72	0.69	0.66	0.96
6	1.46	1.17	0.80	0.59	0.89	1.51
7	1.66	1.10	0.66	0.50	0.89	1.78
8	1.72	1.58	0.92	0.70	1.21	1.73
9	1.61	1.25	0.78	0.66	0.93	1.41
10	1.83	1.13	0.62	0.55	0.73	1.33

\*В расчете на элемент.

влажным континентальным климатом с холодной зимой и теплым летом. Средние температуры января и июля – 3.1°C и 18.3°C соответственно. Среднегодовое количество осадков – 500 мм с максимумом в июле. Зима 2010 г. была в целом благоприятна для перезимовки растений, однако в феврале и в течение первой недели марта растения пострадали от сильных морозов (ниже -20°C). Температуры в апреле были несколько выше, чем обычно. Наблюдалась также небольшая задержка осадков, однако количество осадков в мае компенсировало их недостаток в апреле (рис. 1).

Почва опытного участка – дерново-подзолистая, гранулометрический состав – опесчаненный суглинок. Исходная агрохимическая характеристика почвы представлена в табл. 1. Удобрения – аммиачную селитру, двойной суперфосфат и хлористый калий вносили осенью перед посевом в дозах 70 кг N/га, 40 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/га и 80 кг K<sub>2</sub>O/га соответственно (фон –

контроль). Схема опыта включала 9 вариантов с листовыми подкормками растворами KNO<sub>3</sub> (табл. 2). Обработка проводилась в следующие фазы развития растений: возобновление весенней вегетации, выход в трубку и колошение – стадии 25, 31 и 50 по ВВСН-шкале. В эксперименте использовались концентрации раствора KNO<sub>3</sub> в пределах от 3 до 7%. Расход рабочего раствора составил 350 л/га. В контрольном варианте опыта проводили обработку растений водой соответственно трехкратному внесению растворов. Выращивалась озимая пшеница сорта Торас (*Triticum aestivum* L.). Общая площадь делянок – 25 м<sup>2</sup>, повторность – 4-х кратная.

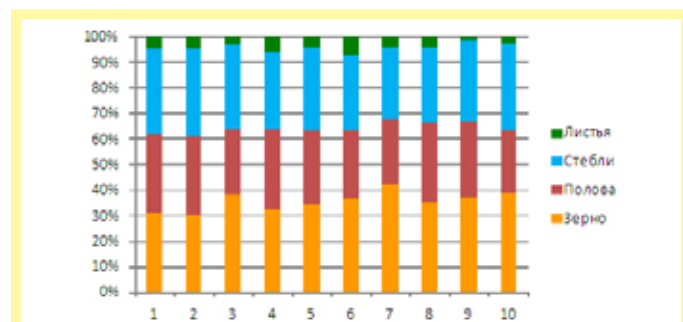
Образцы надземной биомассы растений отбирались при уборке (стадия 91 по ВВСН-шкале) и высушивались в сушильном шкафу при температуре 65°C. Содержание общего азота определяли по методу Кьельдаля (АОАС, 1990). Содержание белка в зерне рассчитывалось путем умножения содержания общего азота на 5.74.

Содержание фосфора определялось спектрофотометрическим методом (Richards, 1954); калия – пламенно-фотометрическим методом (Jackson, 1973); кальция и магния – методом атомной спектроскопии; Fe, Mn, Zn, Cu – методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) на приборе JY 238.

Содержание общего азота и калия было значительно ниже в стеблях по сравнению с листьями растений (табл. 3). Максимальное содержание азота в листьях – 1.83-1.89% наблюдалось при проведении трех обработок раствором KNO<sub>3</sub> (3%+3%+3% и 7%+5%+3% соответственно). Листовые подкормки KNO<sub>3</sub> существенно повышали содержание калия как в листьях, так и в стеблях только в одном варианте опыта – с проведением одной обработки 7% раствором.

Максимальное содержание общего азота в зерне было получено в варианте с проведением одной обработки 7% раствором KNO<sub>3</sub> при возобновлении весенней вегетации растений (табл. 4). Следует отметить тенденцию к увеличению накопления фосфора в зерне при проведении листовых подкормок KNO<sub>3</sub>. Заметных изменений в содержании в зерне таких макро- и микроэлементов, как K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn и Cu выявлено не было.

Влияние листовой подкормки KNO<sub>3</sub> на некоторые элементы структуры урожая озимой пшеницы пока-



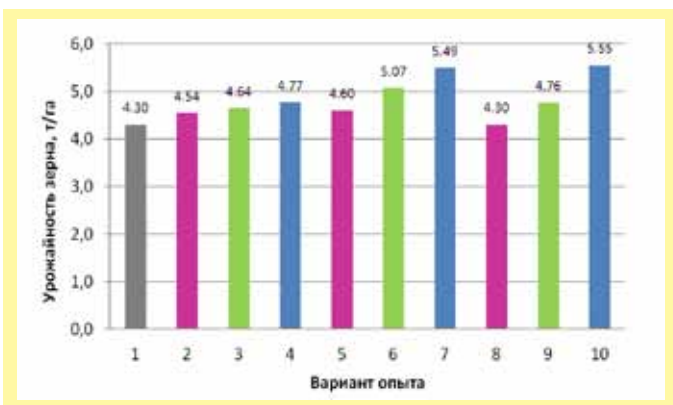
**Рис. 2.** Влияние листовой подкормки KNO<sub>3</sub> на структуру биомассы озимой пшеницы.

**Таблица 4.** Влияние листовой подкормки  $KNO_3$  на содержание макро- и микроэлементов в зерне озимой пшеницы (в расчете на элемент).

Вариант опыта	N	P	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu
	%					мг/кг			
1	2.42	0.05	0.44	0.05	0.04	28.5	38.9	30.9	2.05
2	2.13	0.09	0.46	0.05	0.03	27.9	37.1	32.1	1.95
3	2.40	0.13	0.50	0.06	0.04	33.0	46.0	33.0	2.25
4	2.37	0.11	0.44	0.05	0.04	29.9	41.5	30.8	2.15
5	2.37	0.15	0.42	0.05	0.04	25.6	32.8	27.8	2.00
6	2.40	0.12	0.48	0.06	0.04	28.5	41.5	31.5	2.00
7	2.55	0.10	0.52	0.05	0.04	31.2	41.9	31.2	2.20
8	2.69	0.12	0.40	0.05	0.05	28.6	40.1	29.0	2.45
9	2.23	0.13	0.52	0.06	0.04	29.2	40.9	34.2	2.60
10	2.16	0.12	0.48	0.06	0.04	27.9	37.5	30.0	2.05

**Таблица 5.** Влияние листовой подкормки  $KNO_3$  на некоторые элементы структуры урожая и качество зерна озимой пшеницы.

Вариант опыта	Число колосьев, шт./м <sup>2</sup>	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Белок, %
1	422	22.8	44.3	13.9
2	457	20.4	48.5	12.5
3	405	24.8	45.8	13.8
4	387	27.0	45.3	13.6
5	424	23.1	46.5	13.6
6	403	25.8	49.4	13.8
7	436	28.2	44.2	14.7
8	418	22.8	45.1	15.5
9	396	25.4	47.4	12.8
10	462	25.7	46.3	12.4
НСР <sub>0.05</sub>	42	2.5	4.6	1.4



**Рис. 3.** Влияние листовой подкормки  $KNO_3$  на урожайность зерна озимой пшеницы. (НСР<sub>0.05</sub> = 0.48).

зано в табл. 5. Достоверное увеличение числа зерен в колосе по сравнению с контролем было получено во всех вариантах опыта, где проводилось три обработки, а также в вариантах с двумя обработками (5%+3% и 7%+5%). Статистически значимое увеличение массы 1000 зерен при проведении листовых подкормок  $KNO_3$  наблюдалось только в одном варианте опыта, в котором проводилось две обработки растений (5%+3%).

Доля зерна в надземной биомассе растений была максимальной при проведении трех подкормок растворами  $KNO_3$  (5%+3%+3% и 7%+5%+3%). Данный показатель составил 43 и 39% соответственно (рис. 2). В обоих случаях более высокая доля зерна в над-

земной биомассе была получена за счет снижения доли полюсы (до 25%). Таким образом, листовые подкормки растворами  $KNO_3$  в оптимальных дозах и в оптимальные сроки оказывают положительное влияние на соотношение вегетативных и репродуктивных органов у озимой пшеницы.

Урожайность зерна в контрольном варианте опыта (N70P40K80 – фон) составила 4.30 т/га (рис. 3). Следует отметить, что доза азота, равная 70 кг N/га, соответствует средней практике хозяйств. Достоверная прибавка урожайности зерна по сравнению с контролем

наблюдалась в трех вариантах опыта с листовыми подкормками раствором  $KNO_3$ . Так, урожайность зерна повысилась на 0.77 т/га (на 18%) при проведении двух подкормок (5%+3%). Наибольшие прибавки урожайности – 1.19 и 1.25 т/га (на 28 и 29%) наблюдались при проведении трех подкормок (5%+3%+3% и 7%+5%+3% соответственно). В последнем варианте опыта была получена максимальная урожайность зерна – 5.55 т/га. В вышеуказанных вариантах, как отмечено выше, наблюдалось достоверное увеличение числа зерен в колосе, а также доли зерна в надземной биомассе растений по сравнению с контролем. В нашем исследовании почва была менее обеспечена минеральным азотом и подвижным калием, чем в опытах, проведенных Барраклаухом и Хейнесом (Barraclough и Haynes, 1996), поэтому при проведении листовой подкормки раствором  $KNO_3$  и был получен значительный эффект. К аналогичным выводам пришли и другие исследователи (Zheng и др. 2010).

Результаты проведенного полевого опыта свидетельствуют о том, что максимальное содержание белка в зерне, как и содержание общего азота, отмечается в варианте с проведением одной обработки 7% раствором  $KNO_3$  при возобновлении весенней вегетации растений (табл. 5). Содержание белка в зерне в данном варианте достоверно повысилось до 15.5% по сравнению с 13.9% в контроле. Урожайность зерна при этом не изменилась.

## Выводы

Согласно полученным результатам, максимальная прибавка урожайности зерна при проведении листовых подкормок растворами  $KNO_3$  наблюдалась при проведении трех обработок: при возобновлении весенней вегетации, в фазу выхода в трубку и в колошение. Концентрации раствора  $KNO_3$  при этом составили 5%+3%+3% и 7%+5%+3%. В последнем случае была получена максимальная урожайность зерна – 5.55 т/га. Прирост урожайности зерна был достигнут за счет увеличения числа зерен в колосе и повышения доли зерна в надземной биомассе растений.

Полторадрев М.С. – агроном-консультант; e-mail: maksim.poltoradnev@uralchem.com.

Гребенникова Т.В. – руководитель департамента

маркетинга и продвижения продукции; e-mail: tatiana.grebennikova@uralchem.com.

ОАО «ОХК «УРАЛХИМ» (г. Москва, Россия).

Гржебиш В. – профессор-менеджер, Познаньский университет естественных наук (г. Познань, Польша).

Авторы признательны региональному директору Международного института питания растений по Югу и Востоку России В.В. Носову за помощь в подготовке статьи.

## Литература

Raun, W.R. and G.V. Johnson. 1999. *Agron. J.* 91: 357-363.

Emam, Y. and A.R. Borjian. 2000. *J. Agr. Sci. Tech.* 2: 263-270.

Zecevic, V., Dokic, D., Knezevic, D. and D. Micanovic. 2004. *Kragujevac*

*J. Sci.* 26: 85-90.

El-Abady, M.I., Seadh, S.E., El-Ward, A., Ibrahim, A. and A.M. El-Amam. 2009. *Int. J. Sustain. Crop Prod.* 4 (4): 33-39.

Khan, P., Memon, M.Y., Imitiaz, M. and M. Aslam. 2009. *Pak. J. Bot.* 41 (3): 1197-1204.

Zheng, Y., Xu, X., Simmons, M., Zhang, C., Gao, F. and Z. Li. 2010. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173: 444-452.

Powlson, D.S., Poulton, P.R., Penny, A., and M.V. Hewitt. 1987. *J. Sci. Food Agric.* 41: 195-203.

Barraclough, P.B., and J. Haynes. 1996. *Fert. Res.* 44: 217-223.

Meier, U. 2001. *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.*

Das, S. and A.K. Sarkar. 1981. *Indian Agriculturist* 25: 267-273.

AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis.* Washington, DC: AOAC.

Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils. USDA Handbook No. 60.* Washington, DC: USDA.

Jackson, M.L. 1973. *Soil Chemical Analysis.* New Delhi: Prentice Hall of India Pvt. Ltd.

# Расчет баланса калия по штатам Индии с представлением данных в картографической форме

С. Датта, К. Маджумдар, Г. Сулевски, Т. Сатьянараяна, А. Джонстон

Расчитан и представлен в картографической форме баланс калия по штатам Индии. При этом использованы ГИС-технологии, разработанные Международным институтом питания растений для характеристики применения минеральных удобрений (NuGIS – Nutrient Use GIS). Полученные результаты свидетельствуют об отрицательном балансе калия в большинстве штатов страны, что указывает на превышение выноса калия с урожаем сельскохозяйственных культур над поступлением калия с удобрениями. Недостаточное внесение калия в почву ведет к истощению почвенных резервов калия, что ухудшает плодородие почвы и может привести к значительному снижению урожайности сельскохозяйственных культур в будущем.

В Индии в период после получения независимости произошла значительная интенсификация растениеводства – развивалось орошение, стали выращиваться высокоурожайные сорта и гибриды, обладающие значительно большей потенциальной урожайностью по сравнению с местными сортами. Кроме того, значительно возросло применение минеральных удобрений. Валовой сбор зерновых и зернобобовых культур вырос в пять раз – с 51 млн. т зерна в 1950-51 гг. до более чем 250 млн. т в настоящее время, в то время как потребление минеральных удобрений ( $N + P_2O_5 + K_2O$ ) за указанный период увеличилось примерно в 400 раз. Однако данный прирост потребления минеральных удобрений характеризуется несбалансированным соотношением между азотом, фосфором и калием. Хуже всего ситуация обстоит с калием. Исторически применение калийных удобрений в стране остается на низком уровне, хотя потребность многих сельскохозяйственных культур в калии сопоставима или даже превышает потребность в азоте. Это ведет к отрицательному балансу калия в земледелии страны.

Целый ряд исследований, проведенных в Индии, свидетельствует о превышении выноса элементов питания с урожаем сельскохозяйственных культур над поступлением с удобрениями, а также о значительной доле почв с недостаточной обеспеченностью элементами питания. Отмечается, что баланс элемен-

тов питания в земледелии страны составляет -9.7 млн. т ( $N + P_2O_5 + K_2O$ ): -1.8 млн. т N (19%), -1.2 млн. т  $P_2O_5$  (12%) и -6.7 млн. т  $K_2O$  (69%). Таким образом, вынос калия с урожаем сельскохозяйственных

Сельскохозяйственная культура	Вынос калия с отчуждаемой продукцией (кг $K_2O$ /т основной продукции)*
Пшеница	24.00
Рис	19.08
Кукуруза	20.88
Ячмень (зерно)	7.30
Нут	25.81
Каянус	62.50
Маш ( <i>Vigna radiata</i> )	25.81
Чечевица ( <i>Lens culinaris</i> )	18.35
Вигна борцелистная ( <i>Vigna aconitifolia</i> )	25.81
Арахис (бобы)	8.51
Кунжут	2.54
Горчица	9.21
Лен масличный	11.62
Хлопчатник	14.80
Сахарный тростник	1.44

\* Источник (обобщенные данные по выносу элементов питания с урожаем сельскохозяйственных культур): <http://nugis-india.paqinteractive.com/About%20NuGIS/>

культур значительно превышает поступление калия с удобрениями, что ведет к истощению почвенных резервов калия. Согласно широко распространенному мнению, большая часть почв Индии хорошо обеспечена доступными для растений формами калия, и поэтому на таких почвах не требуется применять калийные удобрения. Однако подобный подход неприемлем, поскольку в настоящее время в стране используются интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Содержание доступных форм калия, достаточное для получения 1-2 т/га зерна, может быть недостаточным для получения более высокого урожая, когда проводится посев семенами лучшего качества, а также используются все другие элементы современных агротехнологий. Это ясно указывает на необходимость проведения периодической оценки баланса калия в регионах, где применяются интенсивные системы земледелия, чтобы избежать нежелательного ухудшения почвенного плодородия по калию. В настоящем исследовании с помощью стандартной методологии анализируются данные, полученные из общедоступных источников, для оценки того, как за 4-летний период (с 2007 по 2011 гг.) изменился баланс калия по штатам Индии.

### Расчет баланса калия

В данной работе при расчете баланса калия учитывалось поступление калия в почву с минеральными

и органическими удобрениями, а также вынос калия с урожаем основных сельскохозяйственных культур. Источники данных по применению минеральных и органических удобрений по штатам страны – сайт статистического отдела департамента сельского хозяйства и кооперации Министерства сельского хозяйства Индии (<http://inputsurvey.dacnet.nic.in/districtables.aspx>) и Ассоциация производителей минеральных удобрений Индии (FAI). Исходя из данных, полученных из вышеуказанных источников, рассчитывалось поступление калия с минеральными и органическими удобрениями по районам страны. Расчет поступления калия с органическими удобрениями (навозом) проводился с учетом среднего содержания калия в навозе.

Вынос калия с урожаем рассчитывался исходя из валовых сборов сельскохозяйственных культур и содержания калия в отчуждаемой с поля сельскохозяйственной продукции. Например, в конкретном штате страны было собрано 10 и 12 млн. т риса в 2007 и 2011 гг. соответственно. Тогда с учетом отчуждения с урожаем зерна и соломы 19.08 кг  $K_2O$ /т зерна (из опубликованных литературных данных) вынос калия в данном штате составляет 190 и 228 тыс. т  $K_2O$  в 2007 и 2011 гг. соответственно. Учитывался вынос калия с отчуждаемой продукцией таких основных сельскохозяйственных культур, как рис, пшеница, кукуруза, ячмень, нут, каянус, маш, чечевица, вигна борцелистная, арахис, кунжут, горчица,

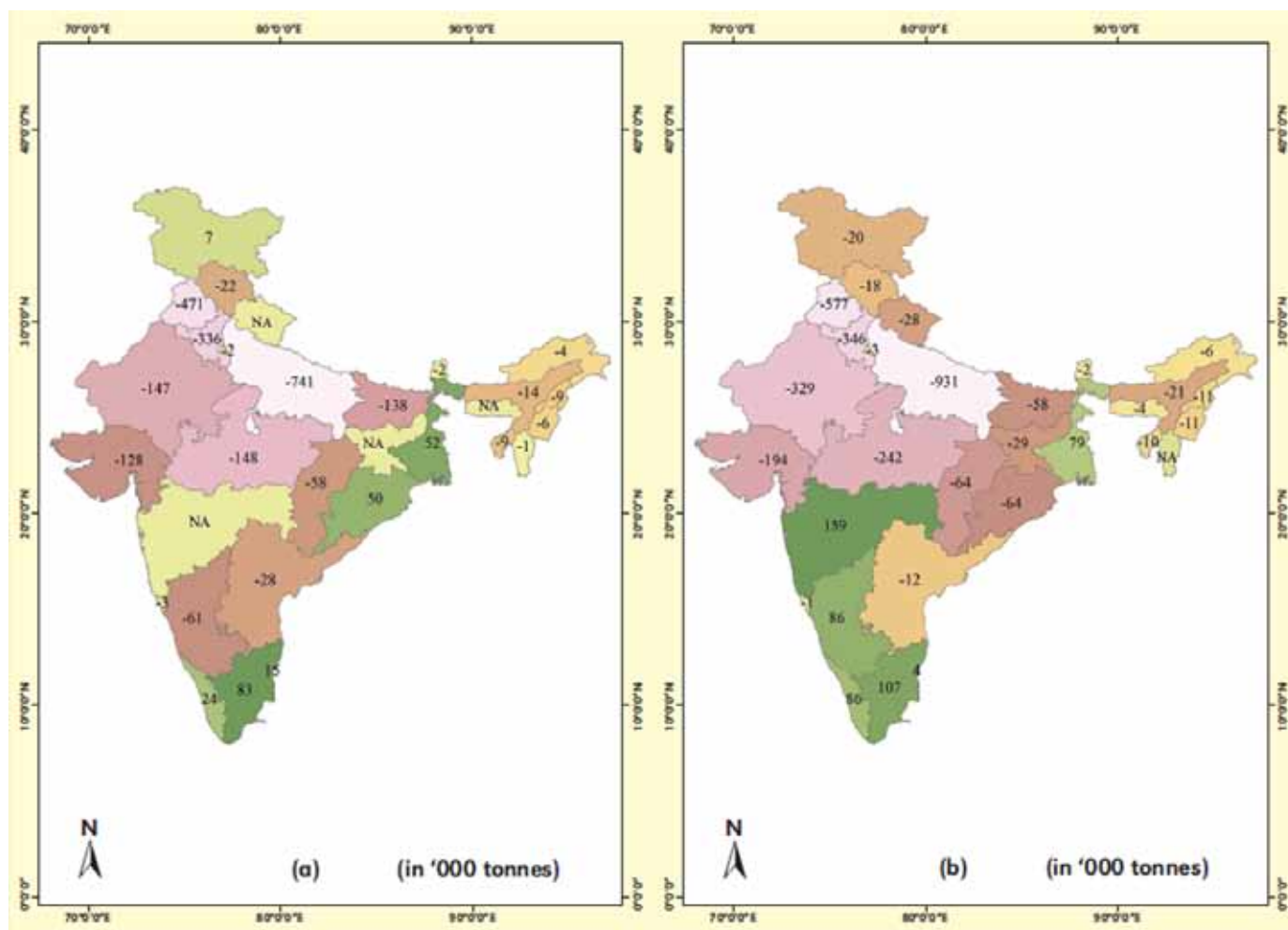
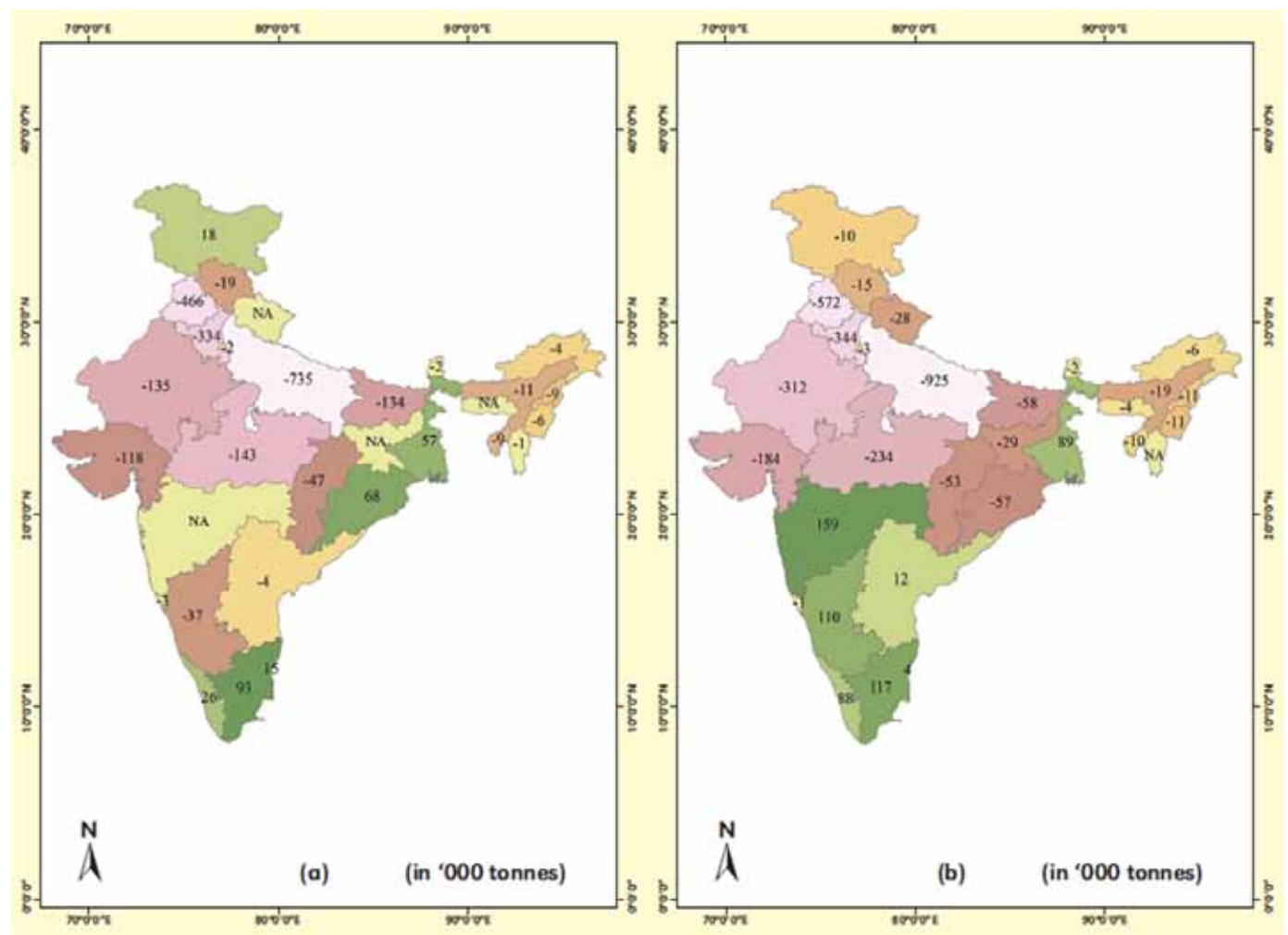


Рис. 1. Баланс калия (тыс. т.  $K_2O$ ) по штатам Индии в 2007 (а) и 2011 (б) гг., рассчитанный как разница между поступлением калия с минеральными удобрениями и выносом калия с отчуждаемой продукцией сельскохозяйственных культур.

NA – нет данных.



**Рис. 2.** Баланс калия (тыс. т.  $K_2O$ ) по штатам Индии в 2007 (а) и 2011 (б) гг., рассчитанный как разница между поступлением калия с минеральными и органическими удобрениями и выносом калия с отчуждаемой продукцией сельскохозяйственных культур.

лен масличный, хлопчатник и сахарный тростник. В табл. 1 дается вынос калия с отчуждаемой продукцией вышеуказанных культур. При расчете баланса калия не учитывался вынос калия овощными и плодово-ягодными культурами.

Баланс калия по штатам Индии (2007 и 2011 гг.) рассчитывался как разница между поступлением калия с удобрениями (с учетом и без учета органических удобрений) и выносом калия с отчуждаемой продукцией сельскохозяйственных культур. Полученные величины были отображены на карте страны с использованием программного обеспечения ArcGIS 10.1 (ESRI, 2012).

### Баланс калия по штатам Индии

На рис. 1 показан баланс калия по штатам Индии за 2007 и 2011 гг., рассчитанный без учета поступления калия в почву с органическими удобрениями. Отрицательный баланс калия свидетельствует об истощении почвенного плодородия по калию, в то время как положительный баланс калия указывает на воспроизводство почвенного плодородия. Согласно полученным данным, в большинстве северных (Пенджаб, Харьяна, Уттар-Прадеш), восточных (Ассам, Орисса, Трипура) и западных (Гуджарат, Раджастан) штатов Индии в 2011 г. происходило более сильное истощение почвенного плодородия по калию, чем в 2007 г. Таким образом, в вышеуказанных штатах в почву в целом поступало меньше

калия, чем требуется вносить с минеральными удобрениями. Интересно отметить, что баланс калия в штатах Бихар и Джаркханд стал менее дефицитным в 2011 г. по сравнению с 2007 г. (штат Джаркханд был частью штата Бихар в 2007 г.). Данные положительные изменения произошли в результате роста применения калийных удобрений в вышеуказанных штатах в 2011 г. При этом применение минеральных удобрений в целом стало более сбалансированным. Аналогичные изменения также наблюдались и в штате Андхра-Прадеш. Для штатов Западная Бенгалия и Тамилнад характерен положительный баланс калия как в 2007, так и в 2011 гг. В штатах Карнатака и Орисса за рассматриваемый период произошли прямо противоположные изменения. Так, в штате Карнатака баланс калия изменился с отрицательного на положительный, а в штате Орисса, наоборот, – с положительного на отрицательный.

Анализ имеющихся данных свидетельствует о том, что в штате Уттар-Прадеш валовой сбор зерна (зерновые и зернобобовые культуры) в 2007 г. составил 41 млн. т при внесении 0.17 млн. т  $K_2O$ , а в 2011 г. валовой сбор зерна достиг 51 млн. т при увеличении применения калийных удобрений до 0.27 млн. т  $K_2O$ . Следовательно, 1 т зерна была получена при внесении в почву в среднем 4.0-4.5 кг  $K_2O$ , что значительно ниже оптимальных доз калия. Это привело к тому, что в штате Уттар-Прадеш в период с 2007 по 2011 гг. баланс калия стал еще более дефицитным. В тоже время в штате Андхра-Прадеш валовой сбор

зерна в 2007 г. составил 19.3 млн. т при внесении 0.34 млн. т  $K_2O$ , а в 2011 г. было собрано 20.1 млн. т зерна при внесении 0.35 млн. т  $K_2O$ . Следовательно, 1 т зерна была получена при поступлении в почву в среднем 17 кг  $K_2O$ . Это способствовало тому, что в 2011 г. баланс калия в штате Андхра-Прадеш улучшился – стал менее дефицитным по сравнению с 2007 г.

На рис. 2 представлен баланс калия по штатам Индии, рассчитанный с учетом поступления калия с органическими удобрениями. Как и следовало ожидать, баланс калия при этом улучшился – отмечено либо снижение дефицита, либо повышение профицита баланса калия. Однако радикальное улучшение баланса калия при учете поступления калия с органическими удобрениями зафиксировано только в штате Андхра-Прадеш. В данном штате в 2011 г. наблюдался отрицательный баланс калия при учете поступления калия только с минеральными удобрениями, и положительный баланс, если в расчет принималось поступление калия с органическими удобрениями. Отсутствие подобных существенных изменений в целом по стране связано с ограниченным количеством органических удобрений, поскольку навоз используется в качестве топлива. Солома может скармливаться животным, а также использоваться в качестве строительного материала.

В целом, в 2007 г. в большинстве штатов Индии складывался отрицательный баланс калия, и в 2011 г. ситуация еще больше ухудшилась – баланс калия стал более дефицитным. Это произошло, по-видимому, в результате снижения применения калийных удобрений, а также повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Определение содержания доступных для растений форм калия в почве (обменного калия) не всегда позволяет выявить происходящее истощение резервов почвенного калия. Это связано с тем, что при калийном истощении почвы происходит высвобождение калия из необменных форм, содержание которых обычно не определяется при проведении массовых почвенных анализов. Однако такое «незамеченное» истощение резервов почвенного калия может привести к сильному ухудшению плодородия почвы. Соответственно, в будущем потребуются более высокие инвестиции на восстановление почвенного плодородия по калию. Результаты минералогических исследований свидетельствуют о том, что сильная потеря межпакетного калия вызывает необратимые трансформационные изменения глинистых минералов иллитовой группы. Образующиеся при этом трехслойные алюмосиликаты способны высвобождать значительно меньшие количества калия. В целом, почвы Индии (особенно аллювиальные почвы) характеризуются высоким содержанием калийсодержащих трехслойных алюмосиликатов и поэтому обладают высокой калийснабжающей способностью. Однако существует определенная степень калийного истощения почвы, когда его дальнейшее прогрессирование ведет к необратимой потере почвенного пло-

дородия – ухудшению качества почвы. Это может негативно отразиться на продуктивности пашни.

## Выводы

Согласно результатам проведенного исследования, для большинства штатов Индии характерен отрицательный баланс калия. При этом в 2011 г. он стал еще более дефицитным по сравнению с 2007 г. Таким образом, для предотвращения дальнейшего истощения почв необходимо сбалансировать соотношение между элементами питания во вносимых минеральных удобрениях за счет повышения доз калия. Расчет доз калийных удобрений должен проводиться исходя из оценки калийснабжающей способности почвы, для которой свойственна пространственная и временная изменчивость. Кроме того, должна учитываться и потребность выращиваемых сельскохозяйственных культур в калии для достижения запланированного уровня урожайности. Это будет способствовать формированию устойчивой продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранению здоровья почвы.

## Литература

- Agriculture Census Division, Dept. Agric. and Coop., Ministry of Agric., Govt. of India website (<http://inputsurvey.dacnet.nic.in/districttables.aspx>). Last accessed on November 9, 2013.
- Biswas, P.P. and P.D. Sharma. 2008. *Indian J. Fert.*, 4(7): 59-62.
- ESRI, 2012. <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis10>. Last accessed on November 29, 2013.
- Fertilizer Statistics. 2007. Fertilizer Association of India. FAI House, New Delhi.
- Fertilizer Statistics. 2011. Fertilizer Association of India. FAI House, New Delhi.
- Special Data Dissemination Standard Division, Directorate of Economics & Statistics Ministry of Agriculture Govt. of India, ([http://apy.dacnet.nic.in/crop\\_fryr\\_toyr.aspx](http://apy.dacnet.nic.in/crop_fryr_toyr.aspx)). Accessed on October 24, 2013.
- Samra, J.S. and P.D. Sharma. 2009. *Proceedings of the IPI-OUAT-IPNI International Symposium Bhubaneswar, Orissa, India, 5-7 November, 2009*, pp. 15-43.
- Sanyal, S.K., M.S. Gill, and K. Majumdar. 2009. *Proceedings of the IPI-OUAT-IPNI International Symposium Bhubaneswar, Orissa, India, 5-7 November, 2009*, pp. 389-405.
- Sarkar, G.K., A.P. Chattopadhyay, and S.K. Sanyal. 2013. *Geoderma*. 207-208: 8-14.
- Satyanarayana, T. and R.K. Tewatia. 2009. *Proceedings of the IPI-OUAT-IPNI International Symposium Bhubaneswar, Orissa, India, 5-7 November, 2009*, pp. 467-485.
- Tandon, H.L.S. 2004. *Fertilizers in Indian Agriculture from 20th to 21st Century*, FDCO New Delhi, pp. 240.

Перевод с английского: В.В. Носов – региональный директор Международного института питания растений по Югу и Востоку России, к.б.н.

# Результаты научного проекта по совершенствованию рекомендаций по внесению калийных удобрений в России в 2014

С.Е. Иванова, В.А. Романенков, Л.В. Никитина

Ровно один год назад на страницах этого издания были опубликованы первые результаты совместного научного проекта Международного Института Питания Растений и Всероссийского НИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, стартовавшего осенью 2012 года. Проект направлен на совершенствование рекомендаций по внесению калийных удобрений и корректировке существующих градаций обеспеченности почв калием в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур (Иванова С.Е. и др., 2014). В данной статье представлены результаты, полученные осенью 2014 – второго года исследований.

Для продолжения исследований по отзывчивости сахарной свеклы, рапса, сои и кукурузы на зерно на калийные удобрения осенью 2013 года была заложена вторая серия краткосрочных полевых производственных опытов в Центрально-Черноземном (ЦАС Липецкий, ГЦАС Воронежский и Белгородский ГУ) и Северо-Кавказском (ГЦАС Ростовский) регионах. Опыты заложены в хозяйствах с уровнем урожайности выше среднего в данном регионе на черноземах со средним, повышенным и высоким содержанием доступных для растений форм калия. Эти опыты будут проводиться в течение 2-х лет в звене севооборота. В опытах изучается влияние 4-х возрастающих доз К на фоне оптимальных доз NР при абсолютном контроле (без удобрений). Калийные удобрения вносились под культуру севооборота, наиболее требовательную к калию, в форме гранулированного хлористого калия.

Осенью 2014 года в опытах было оценено влияние калийных удобрений на урожайность основной и побочной продукции следующих культур: в Воронежской области – сахарная свекла и кукуруза на зерно, в Липецкой – сахарная свекла и яровой рапс, в Белгородской – соя, в Ростовской – сахарная свекла и кукуруза на зерно.

Каждый вариант опыта проводится в трех повторностях, с изучением последствие однократной большой дозы калийных удобрений при возделывании последующих культур звена севооборота.

Для опытов с сахарной свеклой приняты следующие варианты внесения удобрений: абсолютный контроль (без удобрений), NР в оптимальных дозах для хозяйства – фон, фон +K70(K1), фон + K140(K2), фон +K210(K3), фон +K280(K4).

Для опыта со второй культурой приняты следующие варианты внесения удобрений: для кукурузы на зерно – абсолютный контроль (без удобрений), NР в оптимальных дозах для хозяйства – фон, фон +K60(K1), фон+ K120 (K2), фон +K180(K3), фон +K240(K4); для сои и рапса ярового – абсолютный контроль (без удобрений), NР в оптимальных дозах для хозяйства – фон, фон +K30(K1), фон+ K60 (K2), фон +K90(K3), фон +K120(K4).

Кроме того, в опытах первого этапа закладки (осень 2012 – 2013), результаты которых были представлены ранее (Иванова С.Е. и др., 2014) в 2014 изучали последствие калийных удобрений, внесенных осенью 2012 года под предыдущую культуру.

В целом из-за сравнительно более засушливых условий вегетации 2014 года достигнутый в опытах уровень урожайности для всех изученных культур был значительно ниже по сравнению с 2013 годом. Рассмотрим результаты, полученные в каждом регионе более подробно.

## Воронежская область

В опыте, проводимом в Воронежской области, на сахарной свекле (гибрид Росанта) был достигнут высокий уровень урожайности (более 50 т/га). При этом установлено положительное действие калийных удобрений, обусловивших 15-21% увеличение урожайности корнеплодов сахарной свёклы при внесении двойной (140 кг  $K_2O$ /га), тройной (210 кг  $K_2O$ /га) и максимальной дозы калийных удобрений (280 кг  $K_2O$ /га) по сравнению с азотно-фосфорным фоном (табл. 1). Благодаря положительному действию калийных удобрений с ростом урожайности сахаристость свеклы не снижалась, что обеспечило соответствующий прирост сбора сахара – с 6.7 до 8.0 т/га (рис. 1).

В опыте с кукурузой на зерно внесение калийных удобрений приводило к значимому росту урожайности зерна на 5-15%, при сохранении его качества. Максимальная урожайность (3.6 т/га) была достигнута в варианте с внесением 120  $K_2O$  кг/га. При этом прибавка урожая от калия составила 0.5 т/га. Таким образом, каждый внесенный килограмм  $K_2O$  обеспечил получение дополнительных 4 кг зерна кукурузы.

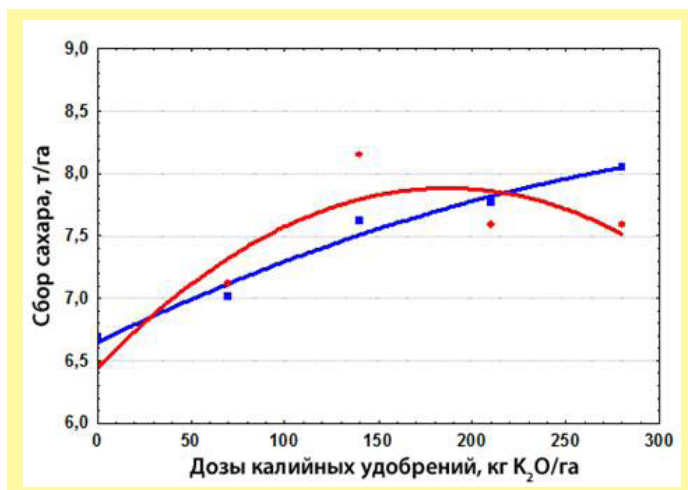


Рис. 1. Влияние доз калийных удобрений на сбор сахара в опытах 2014 г. Графики: синий - Воронежская область, красный – Липецкая область



**Таблица 1.** Влияние калийных удобрений на увеличение урожайности сельскохозяйственных культур в полевых производственных опытах

<b>Действие удобрений в первый год внесения, опыты второго этапа закладки</b>		
<b>Область</b>	<b>Культура, основная продукция</b>	<b>Максимальная прибавка урожая от калия, %</b>
Воронежская	Сахарная свёкла	<b>24*</b>
	Кукуруза на зерно	<b>15</b>
Липецкая	Сахарная свёкла	<b>12</b>
	Яровой рапс	<b>14</b>
Белгородская	Соя	<b>7</b>
Ростовская	Сахарная свёкла	10
	Кукуруза на зерно	8
<b>Последствие удобрений (1 год) в опытах первого этапа закладки</b>		
<b>Область</b>	<b>Культура, основная продукция</b>	<b>Максимальная прибавка урожая от калия, %</b>
Воронежская	Яровой ячмень	<b>18</b>
	Яровая пшеница	<b>20</b>
Липецкая	Озимая пшеница	<b>16</b>
	Озимая пшеница	<b>33</b>
Белгородская	Озимая пшеница	<b>4</b>
	Яровой ячмень	<b>7</b>
Ростовская	Озимая пшеница	<b>10</b>
	Озимая пшеница	4
<i>*Жирным шрифтом выделены опыты со значимым ростом урожайности</i>		

В опыте с яровой пшеницей на последствие калийных удобрений получен достоверный прирост урожайности яровой пшеницы на 9-20% по сравнению с азотно-фосфорным фоном на вариантах с двойной (140 кг  $K_2O$ /га), тройной (210 кг  $K_2O$ /га) и максимальной дозой калия (280 кг  $K_2O$ /га), внесенной осенью 2012 года под предыдущую культуру севооборота – сахарную свеклу. Максимальная урожайность яровой пшеницы (4.1 т/га) была достигнута в варианте с внесением максимальной дозы (280 кг  $K_2O$ /га), при этом качество пшеницы соответствовало I классу мягкой пшеницы (здесь и далее – по ГОСТ Р 52554-2006) за счет содержания клейковины на уровне 32% и снижения ИДК до 75 единиц, остальные варианты обеспечили получение зерна II класса. Максимальная прибавка урожая от калия составила 0.7 т/га. Таким образом, каждый внесенный килограмм калия обеспечил получение дополнительных 2.5 кг зерна яровой пшеницы.

В опыте с ячменем на последствие калийных удобрений достоверный рост урожайности на 12-18% отмечен на варианте с тройной (180 кг  $K_2O$ /га) и максимальной дозой калия (240 кг  $K_2O$ /га), внесенных осенью 2012 года под предыдущую культуру севооборота – кукурузу на зерно. Максимальная прибавка урожая от калия составила 0.8 т/га. Таким образом, каждый внесенный килограмм калия обеспечил получение дополнительных 3.3 кг зерна ячменя.

Последствие калия обусловило рост массы 1000 зерен на 5%, а также повысило содержание белка в зерне ячменя. Последнее обстоятельство может быть критическим при возделывании пивоваренных сортов.

## Липецкая область

В Липецкой области в опыте с сахарной свеклой (гибрид Венгура) был достигнут средний уровень урожайности (до 36 т/га), при этом положительный эффект от калийных удобрений отмечен при внесении всех доз с достоверным ростом урожая корнеплодов на 7-14% по сравнению с азотно-фосфорным фоном. Выход сахара увеличился максимально на 26% (с 6.5 до 8.2 т/га), что обеспечивалось как ростом урожайности, так и увеличением сахаристости корнеплодов в среднем на 3% по сравнению с NP фоном.

В опыте с яровым рапсом (сорт Ратник) была достигнута максимальная урожайность 1.25 т/га. При этом калийные удобрения обеспечивали достоверную прибавку урожая рапса по сравнению с азотно-фосфорным фоном на 6-28%. Прирост урожая происходил при сохранении масличности семян, а также при снижении кислотного числа почти вдвое, что увеличивает сохранность рапса при хранении. Максимальная прибавка урожая от калия составила 0.15 т/га. Таким образом, каждый внесенный килограмм калия обеспечил получение дополнительных 2.5 кг семян рапса.

В двух опытах с последствием калия на озимой пшенице, внесенного под предыдущую культуру севооборота – сахарную свеклу и рапс, во всех вариантах опыта обеспечивался достоверный рост урожайности по сравнению с азотно-фосфорным фоном. При этом прибавка урожая от калия составила 8-33%. Последствие калия обеспечило увеличение содержания белка в зерне пшеницы на 1-1.7%, увеличение натурности зерна на 5-10 г и стекловидности. Улучшение качества зерна у сорта пшеницы Безенчукский 380 позволило получить зерно I класса на вариантах с последствием одинарной (60 кг  $K_2O$ /га), двойной (120 кг  $K_2O$ /га), и максимальной доз калия (240 кг  $K_2O$ /га), внесенных под предыдущую культуру – рапс, осенью 2012 года. При этом максимальная прибавка урожая от калия составила 0.7 т/га. Таким образом, каждый внесенный килограмм калия обеспечил получение дополнительных 4 кг зерна пшеницы. Улучшение качества зерна у сорта Московская 39 позволило получить зерно I класса на вариантах с последствием одинарной (70 кг  $K_2O$ /га), тройной (210 кг  $K_2O$ /га) и максимальной (280 кг  $K_2O$ /га) дозой калия, внесенных под предыдущую культуру – сахарную свеклу, осенью 2012 года. При этом максимальная прибавка урожая от калия составила 0.8 т/га. Таким образом, каждый внесенный килограмм калия обеспечил получение дополнительных 4.5 кг зерна пшеницы. В обоих опытах в варианте с внесением только азотных и фосфорных удобрений было получено зерно более низкого II класса.

## Белгородская область

В опыте с соей (сорт Ланцентная) достоверное повышение урожайности на 6-7% по сравнению с азотно-фосфорным фоном достигнуто на вариантах с внесением 60-120 кг  $K_2O$ /га. Максимальная прибавка урожая от калия была получена в варианте с внесением 90 кг  $K_2O$ /га и составила 0.12 т/га. Таким образом, каждый внесенный килограмм калия обеспечил получение дополнительных 1.3 кг семян сои. Повышение урожайности сои происходило при

стабильности ее качества – содержание белка и жира сохранялось на уровне 36 и 20%, соответственно.

В опыте с последствием калийных удобрений достоверная прибавка урожая пивоваренного ячменя составила 5-7% по сравнению с NP-фоном на вариантах с внесением 60-240 кг  $K_2O$ /га осенью 2012 года под предыдущую культуру севооборота – кукурузу на зерно. Максимальная прибавка урожая от калия составила 0.3 т/га. Таким образом, каждый внесенный килограмм калия обеспечил получение дополнительных 1.6 кг зерна ячменя. При росте урожайности содержание белка оставалось стабильным на уровне 9.5-9.8%.

### Ростовская область

В Ростовской области в опыте с сахарной свеклой (сорт Ардан) действие калийных удобрений обусловило рост урожайности на 4-8%, что оказалось незначимым за счет высокого пространственного варьирования данных. Однако в вариантах с внесением калийных удобрений наблюдался рост сахаристости на 1%, при этом сбор сахара возрастал на 7-9% - до 8.7-8.9 т/га. В опыте с кукурузой на зерно прибавка урожая от калия составила 0.5 т/га или 8% в варианте с внесением 180 кг  $K_2O$ /га. Таким образом, каждый внесенный килограмм калия обеспечил получение дополнительных 3 кг зерна кукурузы.

Сравнение экономической эффективности применения калийных удобрений в полевых опытах 2014 г. под различные культуры с учетом затрат на 1 тонну гранулированного хлористого калия в физическом весе равным 13 тысяч рублей (включая стоимость удобрений 11 000 руб/т в физическом весе и затраты на доставку до поля – 2000 рублей), показывает, что наиболее эффективным оказалось внесение под сахарную свеклу как более требовательную к калию культуру с максимальным увеличением доходности с 1 га на 15 тыс.руб. в опыте Воронежской области и 5 тыс. руб. в опыте Липецкой области. При этом в Липецкой области максимальный рост рентабельности на сахарной свёкле составил 6%, в Воронежской области – 21%.

При возделывании рапса в Липецкой области максимальный рост доходности был при дозе 60 кг  $K_2O$ /га и составил 380 руб/га при росте рентабельности в 1%.

В опытах с последствием калия на зерновых

культурах получено стабильное повышение рентабельности применения калийных удобрений. Максимальное увеличение доходности с 1 га по сравнению с NP-фоном получено на озимой пшенице (4200-6075 руб.) в опытах в Липецкой области. Здесь же получен максимальный рост рентабельности. На яровых культурах (ячмень и пшеница) максимальный рост дохода составил 3000-3800 руб. с 1 га при применении тройной и максимальной дозы калия, с ростом рентабельности на 33-54% по сравнению с фоном.

В следующем году будут обобщены и опубликованы результаты всех трех лет исследований, но уже по итогам первых двух лет можно сделать практический вывод о том, что невнесение калийных удобрений на черноземах с высокой и достаточной обеспеченностью калием приводит к существенному недобору урожая сахарной свеклы, кукурузы на зерно, рапса и сои. Применение калийных удобрений приводит не только к росту урожайности и качества возделываемых культур в первый год внесения, но и оказывают существенное положительное последствие на урожайность и качество следующей зерновой культуры в севообороте (яровая и озимая пшеница, ячмень).

*Иванова С.Е. - кандидат биологических наук, вице-президент Международного Института Питания Растений по Восточной Европе и Центральной Азии. e-mail: sivanova@iprni.net.*

*В.А. Романенков - доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский НИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, 127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а. e-mail: viua@online.ru*

*Никитина Любовь Васильевна - Всероссийский НИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, 127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а. e-mail: kalinik@bk.ru*

## Литература

*Иванова С.Е., Романенков В.А., Никитина Л.В. Первые результаты научного проекта по совершенствованию рекомендаций по внесению калийных удобрений в России. Ключевой элемент, №1, 2014, стр. 6-10.*

## Калийное состояние почв Уругвая: текущая ситуация и прогнозы на будущее

М. Барбазан, К. Баутес, Л. Бьюкс, Ж.М. Бордоли, А. Калифра, Ж.Д. Кано, А. дель Пино, О. Эрнст, А. Гарсия, Ф. Гарсия, С. Маззилли и А. Квинке

*В ходе недавно проведенных исследований был выявлен недостаток калия у основных полевых культур, выращиваемых в Уругвае. Предварительный анализ данных свидетельствует о том, что недостаточно обеспеченные обменным калием почвы занимают около 5 млн га. Исходя из обобщения результатов 50-ти полевых опытов, критическое содержание обменного калия в почве составляет 0.34 ммоль (экв)/100 г почвы (133 мг K/кг почвы).*

**В** Уругвае предпринимались немногочисленные попытки изучения динамики калия К в почвах по сравнению с усилиями по изучению динамики азота и фосфора, которая была исследована в раз-

ных почвенно-климатических условиях при использовании разных систем земледелия. Наиболее ранние исследования по изучению отзывчивости растений на применение калийных удобрений проводились с сель-

скохозяйственными культурами, имеющими высокую потребность в калии, – сахарным тростником, сахарной свеклой, картофелем, луком и хлопчатником. Для разных типов почв был разработан ряд рекомендаций по применению минеральных удобрений под указанные культуры. В 1960-х гг. были проведены первые исследования по питанию зерновых культур. Эти работы продемонстрировали отзывчивость пшеницы на применение калийных удобрений на почвах, развитых на песчаниках меловой формации. Два десятилетия спустя в северо-восточной части страны было проведено несколько исследований по питанию сои, согласно результатам которых растения либо слабо отзывались,

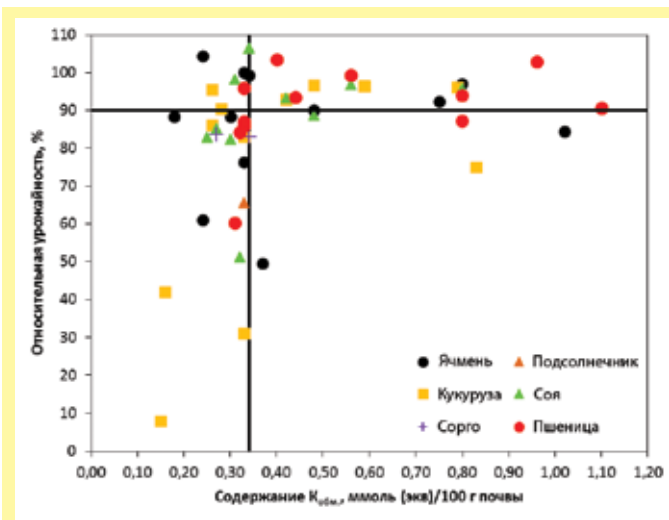


либо совсем не отзывались на применение калийных удобрений. Немногочисленность исследований по калийной тематике, по-видимому, связана с тем, что сельское хозяйство страны в первую очередь развивалось в регионах, почвы которых имели высокую обеспеченность обменным калием ( $K_{обм.}$ ). При этом практиковались севообороты с включением пастбищных полей, и использовалась традиционная обработка почвы. Это объясняет отсутствие рекомендаций по применению калийных удобрений в то время. Их внесение рекомендовалось только при содержании  $K_{обм.}$  в почве (вытяжка ацетата аммония) менее 0.30 ммоль (экв)/100 г почвы (117 мг К/кг почвы), исходя из результатов работ, проведенных в «кукурузном поясе» США. Эти работы показали, что при содержании  $K_{обм.}$  в почве более 0.23-0.33 ммоль (экв)/100 г почвы (90-130 мг К/кг почвы) низка вероятность того, что растения сои и кукурузы будут отзываться на применение калийных удобрений при использовании традиционной обработки почвы.

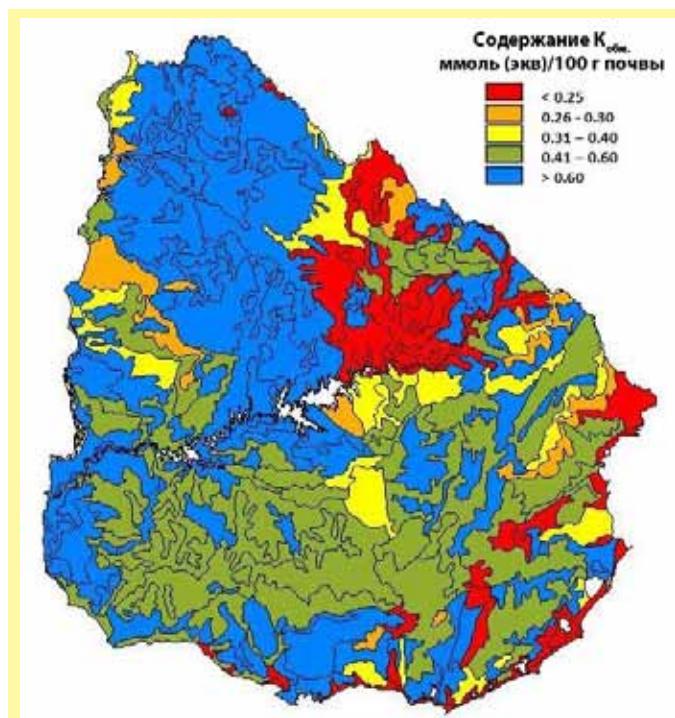
В полевых исследованиях, проведенных позднее агрономическим факультетом Республиканского университета, Национальным исследовательским институтом сельского хозяйства и другими организациями, на почвах с низким содержанием  $K_{обм.}$  в ряде случаев были выявлены признаки недостатка калия у кукурузы и лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.). Увеличивающееся распространение внешних признаков недостатка калия повлекло за собой проведение специальных исследований, которые продемонстрировали отзывчивость ряда сельскохозяйственных культур на применение калийных удобрений. Обобщение результатов 50-ти недавно проведенных полевых исследований (с единой системой обработки почвы, схемой опытов, дозами и формами калийных удобрений) позволило установить, что критическое содержание  $K_{обм.}$  в слое почвы 0-20 см составляет 0.34 ммоль (экв)/100 г почвы или 133 мг К/кг почвы (Barbazán и др., 2010; 2011). Это был прорыв в изучении калийной проблематики в Уругвае (рис. 1).

### Распределение содержания $K_{обм.}$ в почвах и баланс калия в земледелии Уругвая

Почвы Уругвая характеризуются широким диапазоном содержания  $K_{обм.}$  (рис. 2). Согласно результатам проведенного в стране почвенного обследования, почвенные различия с низкой обеспеченностью доступ-



**Рис. 1.** Взаимосвязь между относительной урожайностью сельскохозяйственных культур и содержанием обменного калия ( $K_{обм.}$ ) в почвах Уругвая (слой 0-20 см). Представлено обобщение результатов 50-ти полевых опытов. Относительная урожайность рассчитывалась как процентное соотношение между средней урожайностью в контрольном варианте и при внесении хлористого калия (100-200 кг/га в физическом весе). Источник: Barbazán и др., 2010; 2011.



**Рис. 2.** Содержание обменного калия ( $K_{обм.}$ ) в почвах Уругвая (слой 0-20 см) по данным почвенного обследования. Масштаб: 1:1000000. Источник: Califra и Barbazán (неопубликованные данные).



ным для растений калием занимают приблизительно 5 млн га. В сельскохозяйственной зоне на западе Уругвая содержание  $K_{обм}$  в почвах обычно находится в диапазоне от среднего до высокого.

Однако за последние два десятилетия ситуация в сельском хозяйстве Уругвая значительно изменилась: произошла интенсификация систем земледелия. Текущий уровень интенсивности составляет 1.5 культуры в год (DIEA, 2015), что ведет к истощению почвенных резервов калия. Например, результаты исследований, проведенных в департаменте Сорьяно (Западная сельскохозяйственная зона), свидетельствуют о том, что содержание  $K_{обм}$  в почвах, на которых ведется сельхозпроизводство, снизилось на 40 и 44% в слоях 0-7.5 и 7.5-15 см соответственно по сравнению с залежными почвами. Следует также отметить, что сельское хозяйство стало распространяться на маргинальные (малоплодородные) территории, где преобладают почвы с низким содержанием  $K_{обм}$ .

Без применения калийных удобрений в земледелии Уругвая исторически складывался отрицательный баланс калия, рассчитываемый как разность между поступлением калия с удобрениями и его выносом с урожаем (Mancassola и Casanova, 2015). Более того, с ростом посевных площадей сои (рис. 3) баланс калия стал еще более дефицитным из-за высокой потребности данной культуры в калии. Валовой сбор сои в 2012 г. составил 2.76 млн т, то есть, исходя из среднего содержания калия в семенах сои, вынос калия с урожаем был равен приблизительно 55 тыс. т  $K_2O$ .

Принимая во внимание большие площади сельскохозяйственных земель и зависимость от импорта калийных удобрений, а также их текущую стоимость в Уругвае, очень важно определить приоритетные направления исследований с учетом имеющихся представлений о динамике калия в почве. Полученная информация поможет разработать системы применения калийных удобрений. Агрономы и фермеры в разных регионах страны уже проявляют озабоченность относительно обеспеченности почв калием, что находит отражение в растущем спросе на проведение анализов на содержание  $K_{обм}$  в почве.

Вынос калия из почв с урожаями увеличился в результате роста валовых сборов сои. В настоящее время соя выращивается на разных типах почв с разной обеспеченностью доступными и труднодоступными формами калия на площади приблизительно 1 млн га. Качество послеуборочных растительных остатков и способы их утилизации могут оказывать влияние на

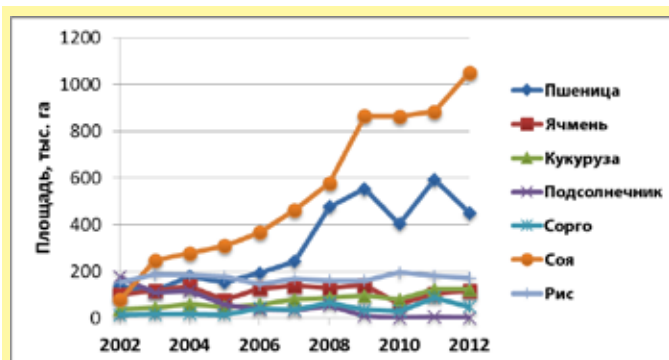


Рис. 3. Посевные площади основных сельскохозяйственных культур в Уругвае за период 2002-2012 гг. Источник: DIEA, 2015.

распределение калия по профилю почвы. Это необходимо учитывать при проведении почвенных обследований (отборе почвенных образцов) и разработке рекомендаций по применению калийных удобрений.

Текущая исследовательская и опытная работа сфокусирована на изучении динамики калия в почвах в зависимости от минералогического состава и физических свойств почв. Изучается также влияние систем земледелия и способов обработки почвы на динамику калия в почвах в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Проводимые исследования помогут разработать рекомендации по применению калийных удобрений. Эффективное использование калийных удобрений зависит от успеха в изучении динамики калия в системе «почва-растение». Это подразумевает изучение минерального питания растений и агрохимических свойств почв в условиях регулируемого почвенного плодородия. Проведение длительных полевых опытов будет в значительной степени способствовать решению существующих, а также прогнозируемых проблем.

Д-р Барбазан, д-р дель Пино, г-н Бордоли и г-н Калифра – сотрудники каф. почвенных и водных ресурсов агрономического факультета Республиканского университета, г. Монтевидео (Уругвай). E-mail: mbarbaz@fagro.edu.uy.

Г-н Баутес и г-жа Бьюкс – консультанты (частная практика), г. Мерседес (Уругвай).

Г-н Эрнст и д-р Маззилли – сотрудники каф. растениеводства агрономического факультета Республиканского университета, г. Пайсанду (Уругвай).

Г-жа А. Гарсия и д-р Квинке – сотрудники Опытной станции (п. Ла Эстансуэла) Национального исследовательского института сельского хозяйства (Уругвай).

Д-р Ф. Гарсия – Региональный директор Международного института питания растений по странам «Южного конуса» Латинской Америки (Аргентина).

## Литература

Barbazzán M., Bautés C., Beux L., Bordoli J., Cano J., Ernst O., García A., García F., Quicke A. 2011. Fertilización potásica en cultivos de secano sin laboreo en Uruguay: rendimiento según análisis de suelos. *Agrociencia (Uruguay)*, 15 (2): 93-99.

Barbazzán M., C. Bautés, L. Beux, M. Bordoli, J. Cano, O. Ernst, A. García, F. García, and A. Quincke. 2010. Taller “Dinámica de las propiedades del suelo bajo diferentes usos y manejos” de la Sociedad Uruguaya de Ciencia del Suelo (SUCS) y Rama Uruguay de la International Soil and Tillage Research Organization (ISTRO Branch Uruguay). 12 al 14 de julio, Colonia, Uruguay. CD-ROM.

DIEA – MGAP. 2015. Anuario estadístico agropecuario 2014. <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-anuario-2014,O.es,0>. Verified 15 October 2015. Uruguay.

Mancassola M.V. and O. Casanova. 2015. Balance de nutrientes de los principales productos agropecuarios de Uruguay para los años 1990, 2000 y 2010. *Informaciones Agronomicas de Hispanoamerica*. 17:2-13. [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/1FBFE76748E1474185257E0A0065CD05/\\$FILE/2.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/1FBFE76748E1474185257E0A0065CD05/$FILE/2.pdf)

Рецензирование и редактирование перевода с английского: В.В. Носов.

# Сбалансированное внесение калия под зерновые культуры с помощью «Экспертной программы расчета доз удобрений» (Nutrient Expert®): Повышение урожайности и рентабельности, снижение эмиссии парниковых газов

Сударшан Кумар Датта, Каушик Маджумдар и Т. Сатьянараяна

Недостаточное и несбалансированное применение минеральных удобрений, особенно калийных, при выращивании зерновых культур в Индии ведет к снижению их продуктивности и, соответственно, валовых сборов зерна в стране. Одна из основных причин сложившейся ситуации – отсутствие алгоритма рекомендаций, приемлемого для мелких фермеров с ограниченными техническими ресурсами. «Экспертная программа расчета доз удобрений» (Nutrient Expert®) позволяет выработать рекомендации по сбалансированному применению удобрений в зависимости от планируемого уровня урожайности, а также обеспеченности фермеров техническими ресурсами. Рекомендации по применению минеральных удобрений, полученные с помощью модели Nutrient Expert®, позволяют фермерам вносить в почву необходимое количество калия и других элементов питания. Это способствует росту продуктивности зерновых культур, повышению рентабельности растениеводства, а также снижению эмиссии парниковых газов из сельскохозяйственных почв.

За последние четыре десятилетия применение минеральных удобрений в Индии значительно выросло. В период между 1969-1970 гг. и 2011-2012 гг. ежегодное потребление NPK (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O) выросло

примерно в 12 раз – с 2 до 25.5 млн. т (FAI, 2014). Однако при этом наблюдается несбалансированное соотношение между тремя элементами питания. Так, на долю азота приходится порядка 66% от общего потребления

НПК в стране (Majumdar и др., 2014), а доля  $P_2O_5$  и  $K_2O$  составляет 26% и 8% соответственно (FAI, 2014). Это вызывает серьезную озабоченность, особенно в регионах с преобладанием зерновых севооборотов, где вынос калия из почвы растениями равен или превышает вынос азота. Недостаточное применение калийных удобрений ведет к отрицательному балансу калия, что вызывает истощение почвенных резервов калия (Dutta и др., 2013) и оказывает негативное влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур.

Несбалансированное применение минеральных удобрений, а точнее низкие дозы внесения калия, – одна из главных причин снижающейся отзывчивости растений на внесение остальных элементов питания и, соответственно, замедления роста продуктивности сельскохозяйственных культур в Индии. Накоплено достаточное количество научно-обоснованных данных, свидетельствующих о положительной роли калия в повышении урожайности сельскохозяйственных культур. Результаты большого количества полевых опытов, проведенных на полях фермеров на Индо-Гангской равнине, свидетельствуют о том, что при невнесении калийных удобрений урожайность зерна риса, пшеницы и кукурузы снижается в среднем на 621, 723 и 699 кг/га соответственно (Majumdar и др., 2012). Значительные прибавки урожайности зерна от внесения калия в рисово-пшеничных севооборотах (до 2 т/га) были также получены в полевых опытах, проведенных на Индо-Гангской равнине (Majumdar и др., 2014).

Несмотря на доказанные экономические, социальные и экологические преимущества сбалансированного применения минеральных удобрений, производители зерна в Индии все еще применяют недостаточные количества калийных удобрений. Это может быть связано с отсутствием максимально универсального алгоритма рекомендаций, который был бы приемлем для расчета доз удобрений мелкими фермерами, а также мог бы использоваться ведущими профессиональными консультантами.

В Индии мелкие фермеры обрабатывают небольшие земельные участки, и применяемые агротехнологии сильно зависят от уровня образования фермеров и их обеспеченности техническими ресурсами. В результате использования разных агротехнологических решений наблюдается сильное пространственно-временное варьирование обеспеченности почв фермерских полей элементами питания растений. В идеале система применения удобрений в таких мелких хозяйствах должна выстраиваться и корректироваться с учетом местных почвенно-климатических условий для того, чтобы избежать внесения избытка элементов питания, а также их недовнесения в почву. Исходя из существующей практики применения минеральных удобрений в Индии, используемые фермерами подходы в целом реализуются без интегрирования информации о поступлении элементов питания из почвы и потребностях сельскохозяйственных культур в элементах питания. В свою очередь, рекомендации по применению удобрений для каждого штата страны основаны на результатах полевых опытов по изучению отзывчивости сельскохозяйственных культур на внесение отдельных элементов питания, однако эти результаты экстраполируются на большие территории. При этом пространственно-временное варьирование обеспеченности

почв фермерских полей элементами питания растений не принимается во внимание. И в фермерской практике применения удобрений, и в рекомендуемых системах применения удобрений для штатов Индии внесению в почву калия уделяется мало внимания, что ведет к экономическим потерям из-за недобора урожая (Singh и др., 2013, 2014).

Системы применения удобрений, разработанные с учетом конкретных почвенно-климатических условий, успешно использовались исследователями для определения сбалансированных доз элементов питания и, соответственно, достижения высокого уровня урожайности зерновых культур на полях фермеров (Witt и др., 1999; Setiyono и др., 2010; Chuan и др., 2013). Однако широкомасштабное внедрение данных подходов в фермерских хозяйствах долгое время оставалось проблематичным. Международным институтом питания растений (IPNI) было установлено, что основное препятствие для использования вышеуказанных подходов в производственных условиях – это отсутствие практического алгоритма, способного помочь и фермерам, и консультантам быстро рассчитать дозы удобрений для конкретного поля. В связи с этим институтом была проведена работа, в которой ранее полученные данные по отзывчивости сельскохозяйственных культур на отдельные элементы питания были дополнены современными опытными данными, что позволило разработать систему поддержки принятия решений по применению удобрений. Она проста в использовании и может функционировать как при наличии данных почвенных анализов, так и при их отсутствии. В проведении вышеуказанной работы Международному институту питания растений оказывали поддержку Международная ассоциация производителей удобрений (IFA) и Международный центр по улучшению кукурузы и пшеницы (CIMMYT), а также большое количество национальных партнеров, включая национальные научно-исследовательские и консультационные институты, сельскохозяйственные университеты, государственные департаменты сельского хозяйства, компании-производители минеральных удобрений и семян и неправительственные организации. В результате проведенной работы была разработана динамическая модель для расчета доз удобрений – программа Nutrient Expert®. С ее помощью для конкретного фермерского хозяйства можно рассчитать дозы удобрений под основные зерновые культуры – кукурузу, пшеницу и рис – на основе подходов, учитывающих местные почвенно-климатические условия (Rampolino и др., 2012). При выработке рекомендаций по сбалансированному применению удобрений данной моделью анализируется информация по условиям выращивания сельскохозяйственных культур, включая географическое положение, систему земледелия, а также обеспеченность фермера техническими ресурсами. Программа Nutrient Expert® вырабатывает рекомендации по применению минеральных удобрений исходя из поступления конкретного элемента питания из почвы, а также потребностей сельскохозяйственных культур в данном элементе питания для достижения запланированного уровня урожайности, приемлемого для конкретного фермера. Использование рекомендаций по сбалансированному применению удобрений, полученных с помощью программы Nutrient Expert® с учетом местных почвенно-климатических условий,

способствует росту урожайности зерновых культур, повышению эффективности использования элементов питания из удобрений растениями и, соответственно, более экономному применению удобрений. В результате этого улучшаются экономические показатели растениеводства, а также устраняются негативные последствия для окружающей среды.

Изначально планировалась разработка модели Nutrient Expert® для зерновых культур, поскольку более ¾ обрабатываемых площадей в Индии занято тремя главными зерновыми культурами – рисом, пшеницей и кукурузой. Под данные культуры вносится основная часть удобрений в стране. К настоящему времени разработана модель Nutrient Expert® для пшеницы и гибридной кукурузы. Модель прошла валидацию и уже доступна для всеобщего использования. Nutrient Expert® для риса сейчас проходит валидацию в национальном масштабе с участием государственных научно-исследовательских и консультационных организаций. В ближайшем будущем планируется разработать соответствующие модели и для следующих трех культур: хлопчатник, сахарный тростник и соя.

Программное обеспечение Nutrient Expert® работает на базе MS Access и состоит из 4-х или 5-ти рабочих модулей в зависимости от сельскохозяйственной культуры, для которой оно предназначено. Например, приложение для кукурузы включает 5 модулей, а для пшеницы и риса – 4 модуля. В процессе работы с данными модулями фермеры отвечают на простые вопросы. Исходя из полученных ответов, модель Nutrient Expert® оценивает поступление элементов питания из почвы (с учетом их возврата в почву с растительными остатками, внесения с органическими удобрениями, а также накопления азота бобовыми предшественниками) и отзывчивость сельскохозяйственных культур на внесение N, P и K. В конечном итоге, исходя из запланированного уровня урожайности, вырабатываются наиболее приемлемые рекомендации по применению минеральных удобрений. В данной динамической модели предусмотрена опция, позволяющая снизить запланированный уровень урожайности в зависимости от обеспеченности фермера материально-техническими ресурсами. Соответственно, рекомендации прорабатываются с учетом данной корректировки. Дозы элементов питания для конкретного поля пересчитываются на физический вес минеральных удобрений, выбранных из списка с учетом наличия у дистрибьюторов. В конечном итоге фермер получает рекомендации, соответствующие концепции «4-х правил» (4R) применения удобрений (подразумевает оптимизацию форм, доз, сроков и способов внесения удобрений). Предусмотрена также сравнительная экономическая оценка для рекомендуемой системы применения удобрений, выработанной моделью с учетом конкретных почвенно-климатических условий, и для системы применения удобрений, практикуемой фермером. Это позволяет оценить прибыльность при использовании полученных рекомендаций.

Для валидации модели Nutrient Expert® для кукурузы и пшеницы в основных зонах возделывания данных зерновых культур в Индии была проведена серия полевых опытов. При этом рекомендации, полученные с помощью вышеуказанной модели, сравнивались с имеющимися региональными рекомендациями по приме-

нению удобрений в каждом конкретном штате страны, а также с практикуемой фермерами системой применения удобрений. Схема опытов, таким образом, включала три варианта с расположением опытных делянок в один ряд на каждом поле (размер делянок  $\geq 100 \text{ м}^2$ ).

Согласно результатам 535-ти полевых опытов с кукурузой, проведенных в разных регионах Индии, рекомендации по применению минеральных удобрений, разработанные с помощью модели Nutrient Expert®-Maize, способствовали значительному повышению урожайности зерна по сравнению с фермерской практикой (ФП) и рекомендациями для штатов страны (РШ) [рис. 1]. В соответствии с расчетами по вышеуказанной модели необходимо было вносить несколько более высокие дозы азота и более низкие дозы фосфора по сравнению с рекомендациями для штатов, а также фермерской практикой. Однако дозы калия, рассчитанные с помощью модели Nutrient Expert®-Maize, значительно превышали дозы калия, вносимые фермерами (в среднем на  $24 \text{ кг K}_2\text{O/га}$ ), а также рекомендуемые по штатам Индии (в среднем на  $15 \text{ кг K}_2\text{O/га}$ ). Данная модель вырабатывает рекомендации по дозам минеральных удобрений с учетом планируемого уровня урожайности. Кроме того, учитывается баланс элементов питания в севообороте, исходя из применения удобрений (минеральные + органические) под предшествующую культуру и величины ее урожайности. Согласно проведенным оценкам, дозы калия под кукурузу недостаточны как в

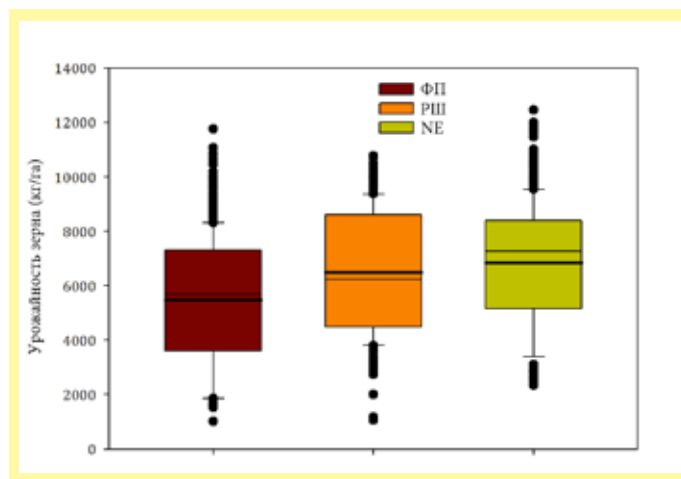


Рис. 1. Средняя урожайность зерна кукурузы в полевых опытах по валидации модели Nutrient Expert®-Maize в Индии (n=535): ФП – фермерская практика применения удобрений; РШ – рекомендации по применению удобрений для штатов страны; NE – модель Nutrient Expert®-Maize.

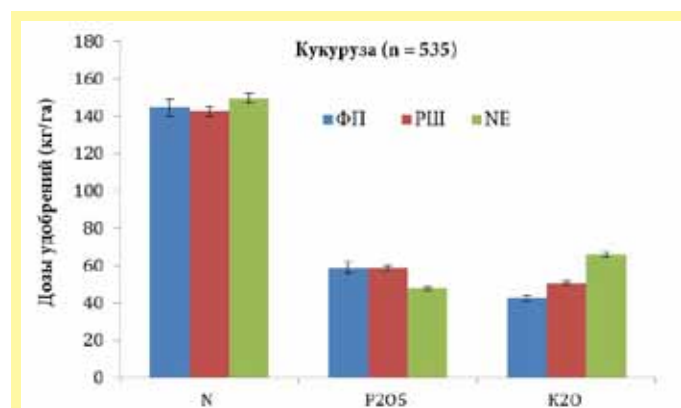
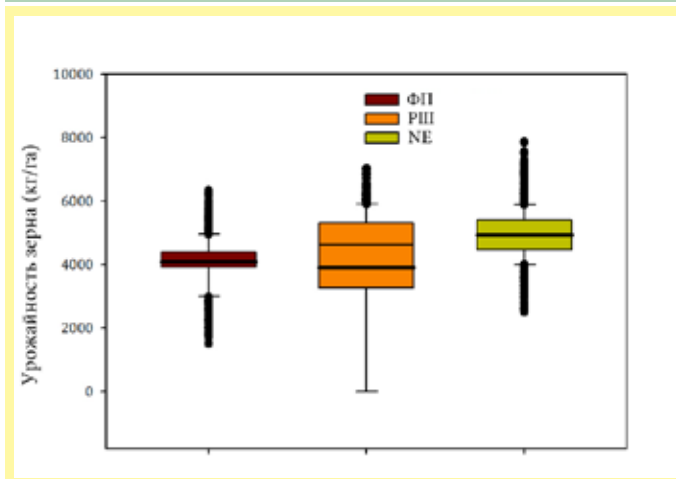


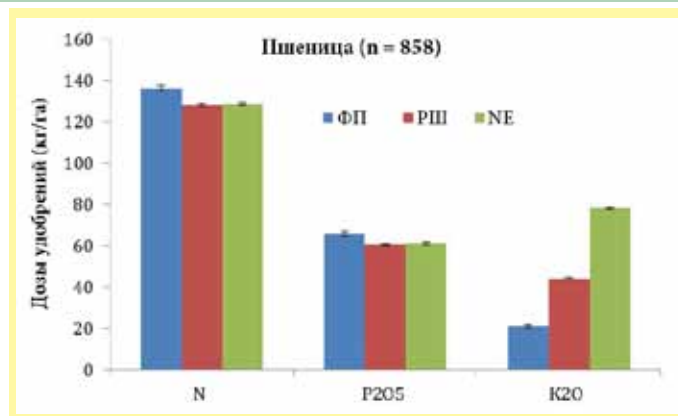
Рис. 2. Средние дозы внесения минеральных удобрений под кукурузу в полевых опытах по валидации модели Nutrient Expert®-Maize (обозначения, как на рис. 1).



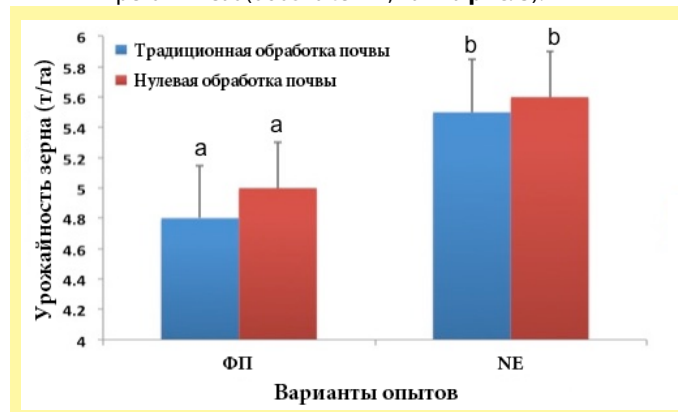
**Рис. 3.** Средняя урожайность зерна пшеницы в полевых опытах по валидации модели Nutrient Expert®-Wheat в Индии (n=858): ФП – фермерская практика применения удобрений; РШ – рекомендации по применению удобрений для штатов страны; NE – модель Nutrient Expert®-Wheat.

практикуемых фермерами, так и в рекомендуемых по штатам страны системах применения удобрений. Следует отметить, что у большей части из проведенных 535-ти опытов с кукурузой дозы калия, рассчитанные с помощью модели, были выше доз калия, вносимых фермерами, а также рекомендуемых по штатам страны. Полученные результаты свидетельствуют о недооценке применения калийных удобрений даже под такую калиелюбивую культуру, как кукуруза, которая выносит большое количество калия из почвы. Недовнесение калийных удобрений признано одной из основных причин снижения урожайности зерна кукурузы в основных зонах возделывания этой культуры в Бангладеш (Timsina и др., 2013).

Средняя урожайность зерна пшеницы в полевых опытах, проведенных на полях фермеров (n = 858), была максимальной при внесении доз минеральных удобрений, рассчитанных с помощью модели Nutrient Expert®-Wheat (4927 кг/га), по сравнению с фермерской практикой (4079 кг/га) и рекомендованной системой применения удобрений по штатам страны (3897 кг/га) [рис. 3]. На рис. 4 четко показана разница в дозах калийных удобрений под пшеницу между тремя протестированными системами применения удобрений. В проведенных опытах дозы азота и фосфора, рассчитанные с помощью вышеуказанной модели, были либо близки, либо меньше доз азота и фосфора, соответствующих фермерской практике и рекомендациям для штатов. Однако расчеты по модели Nutrient Expert®-Wheat выявили необходимость дополнительного внесения калия – 57 и 34 кг K<sub>2</sub>O/га по сравнению с фермерской практикой и рекомендациями для штатов соответственно. Это свидетельствует о сильно несбалансированном применении удобрений под пшеницу в фермерских хозяйствах. Согласно полученным результатам, в вариантах со сбалансированным применением удобрений, включая внесение необходимых доз калия, урожайность зерна повышалась в среднем примерно на 1 т/га. Большая часть полевых опытов с пшеницей была проведена на Загангской равнине Индии – в штатах Пенджаб и Харьяна. Фермеры в этих штатах обычно вносят недостаточные дозы калийных удобрений, поскольку почвы данного региона традиционно считаются богатыми калием из-за преобладания минералов группы



**Рис. 4.** Средние дозы внесения минеральных удобрений под пшеницу в полевых опытах по валидации модели Nutrient Expert®-Wheat (обозначения, как на рис. 3).



**Рис. 5.** Средняя урожайность зерна пшеницы при разных системах применения удобрений и способах обработки почвы. Разные буквы указывают на статистически достоверные различия ( $P \leq 0.01$ ) [обозначения, как на рис. 3].

иллита в составе илистой фракции, а также существенного поступления калия с поливными водами. Однако результаты наших исследований четко свидетельствуют о получении значительной прибавки урожайности зерна пшеницы за счет сбалансированного применения удобрений, включая внесение необходимых доз калия.

Датта с соавт. (Dutta и др., 2014) приводят результаты полевых опытов по оценке пригодности модели Nutrient Expert®-Wheat для агротехнологий выращивания пшеницы, использующих как традиционную, так и нулевую обработку почвы. Данные опыты проводились на полях фермеров (n = 109). Выращивание озимой пшеницы при нулевой обработке почвы набирает популярность, поскольку при этом сокращается промежуток времени между уборкой риса, выращиваемого в дождливый сезон, и посевом пшеницы. Достижения в сельскохозяйственном машиностроении позволяют мелким фермерам проводить прямой посев пшеницы по стерне предшественника – риса. Вышеуказанное исследование включало 65 полевых опытов, проведенных на полях фермеров с традиционной обработкой почвы, и 44 опыта с нулевой обработкой. При этом фермерская практика применения удобрений сравнивалась с рекомендациями, выработанными с использованием модели Nutrient Expert®-Wheat. Полученные результаты свидетельствуют о статистически значимом ( $P \leq 0.01$ ) повышении урожайности пшеницы при внесении доз минеральных удобрений, определенных с помощью вышеуказанной модели, по сравнению с фермерской практикой (рис. 5). Дозы калийных удобрений при расчете по модели Nutrient Expert®-Wheat были значи-



тельно выше по сравнению с фермерской практикой как при традиционной системе обработки почвы, так и при нулевой (рис. 6). При применении минеральных удобрений согласно расчетам по модели отношение полученной прибыли к затратам было в 4 раза выше, чем при фермерской практике применения удобрений (Dutta и др., 2014).

Использование рекомендаций, полученных с помощью модели Nutrient Expert®-Wheat, способствует не только росту урожайности зерновых культур и повышению рентабельности их выращивания, но и снижению эмиссии парниковых газов из сельскохозяйственных почв Северо-Запада Индии. Как показало недавно проведенное исследование (Sarkota и др., 2014), при использовании рекомендаций по применению удобрений под пшеницу, выработанных с помощью данной модели, уменьшается эмиссия парниковых газов из почвы. Это ведет к снижению потенциала глобального потепления (ПГП<sup>1</sup>). Согласно проведенным оценкам, ПГП, выраженный в кг CO<sub>2</sub>-экв. на единицу полученного урожая, а также на 1 амер. доллар чистой прибыли, статистически значимо (P < 0.01) изменялся в зависимости от системы применения удобрений. Для фермерской практики была получена максимальная величина ПГП при расчете на 1 т зерна. Система применения удобрений, основанная на модели Nutrient Expert®-Wheat в комбинации с использованием оптического сенсора Green Seeker для определения доз азотной подкормки, характеризовалась минимальной величиной ПГП (рис. 7). При использовании вышеуказанной комбинации (Nutrient Expert®-Wheat + Green Seeker) за счет проведения азотных подкормок повышалась эффективность использования азота из удобрений растениями. При этом дозы и количество азотных подкормок соответствовали физиологическим потребностям растений. По-видимому, это способствовало снижению содержания остаточного нитратного азота удобрений в почвенном профиле и, таким образом, минимизировало газообразные потери азота из почвы в виде N<sub>2</sub>O. Кроме того, достаточное внесение в почву калия в соответствии с расчетами по модели повышало эффективность использования других элементов питания из удобрений растениями, а особенно азота. Это

<sup>1</sup> ПГП – потенциал глобального потепления

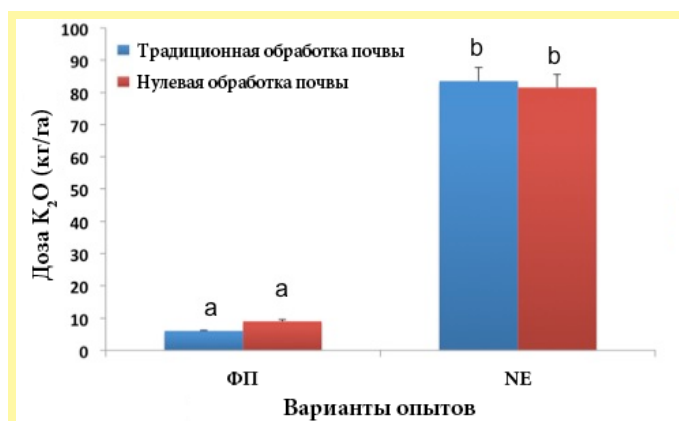


Рис. 6. Средние дозы внесения калийных удобрений под пшеницу при разных системах применения удобрений и способах обработки почвы. Разные буквы указывают на статистически достоверные различия (P ≤ 0.05) [обозначения, как на рис. 3].

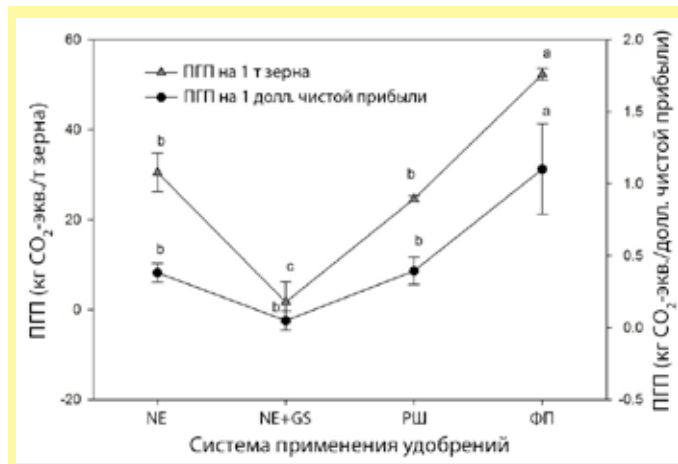


Рис. 7. Потенциал глобального потепления (ПГП), выраженный в кг CO<sub>2</sub>-экв. на 1 т урожая зерна пшеницы и на 1 амер. доллар чистой прибыли, в зависимости от системы применения удобрений при нулевой обработке почвы в штате Харьяна: NE – модель Nutrient Expert®-Wheat; NE+GS – модель Nutrient Expert®-Wheat в комбинации с использованием оптического сенсора Green Seeker; РШ – рекомендации по применению удобрений для штата; ФП – фермерская практика применения удобрений.

улучшало усвоение азота растениями и, соответственно, снижало его газообразные потери из почвы.

В целом, использование рекомендаций по применению минеральных удобрений, разработанных с помощью модели Nutrient Expert®, помогает фермерам повысить урожайность зерновых культур, а также улучшить экономическую эффективность производства зерна в результате сбалансированного применения удобрений с учетом местных почвенно-климатических условий. Результаты полевых опытов, проведенных на полях фермеров, четко свидетельствуют о важной роли калия в повышении продуктивности зерновых культур в Индии. Сбалансированное применение удобрений, включая внесение необходимых доз калия, способствовало повышению урожайности зерновых культур. Кроме того, при вышеуказанной системе применения удобрений замедляется истощение почвенных резервов калия. Следовательно, широкомасштабное внедрение программы Nutrient Expert® может способствовать сбалансированному применению удобрений в мелких фермерских хозяйствах Индии и, соответственно, достижению устойчивой продовольственной безопасности.

## Литература

- Chuan, L., He, P., Jin, J., Li, S., Grant, C., Xu, X., Qiu, S., Zhao, S. and Zhou, W. (2013) Estimating nutrient uptake requirements for wheat in China. *Field Crops Research* 146, 96–104.
- Dutta, S. K., Majumdar, K., Khurana, H. S., Sulewski, G., Govil, V., Satyanarayana, T., and Johnston, A. 2013. Potassium budgets: Mapping soil depletion across different states of India. *Better Crops – South Asia* 7: 28-31.
- Dutta, S. K., Majumdar, K., Shahi, V., Kumar, A., Kumar, V., Gupta, N., Satyanarayana, T., Jat, M. L., Pampolino, M. and Johnston, A. 2014. Nutrient Expert® – Wheat: A Tool for increasing crop yields and farm profit. *Better Crops – South Asia* 8: 11-13.
- FAI. 2014. Fertiliser Statistics. The Fertiliser Association of India, New Delhi, India.
- Majumdar, K., Dey, P. and Tewatia, R. K. 2014. Current nutrient management approaches: Issues and strategies. *Indian Journal*

- of Fertilizer 10(5): 14-27.
- Majumdar, K., Kumar, A., Shahi, V., Satyanarayana, T., Jat, M. L., Kumar, D., Pampolino, M., Gupta, N., Singh, V., Dwivedi, B. S., Meena, M. C., Singh, V. K., Kamboj, B. R., Sidhu, H. S. and Johnston, A. 2012. Economics of potassium fertiliser application in rice, wheat and maize grown in the Indo-Gangetic Plains. *Indian Journal of Fertilizer* 8(5): 44-53.
- Pampolino, M. F., Witt, C., Pasuquin, J. M., Johnston, A., Fisher, M. J. 2012. Development approach and evaluation of the Nutrient Expert software for nutrient management in cereal crops. *Computer and Electronics in Agriculture* 88: 103-110.
- Sapkota, T. B., Majumdar, K., Jat, M. L., Kumar, A., Bishnoi, D. K., McDonald, A. J. and Pampolino, M. 2014. Precision nutrient management in conservation agriculture based wheat production of Northwest India: Profitability, nutrient use efficiency and environmental footprint. *Field Crops Research* 155: 233-244.
- Setiyono, T. D., Walters, D. T., Cassman, K.G., Witt, C., Dobermann, A. (2010) Estimating the nutrient uptake requirements of maize. *Field Crops Research*, 118 (2): 158-168
- Singh, V. K., Dwivedi, B. S., Buresh, R. J., Jat, M. L., Majumdar, K., Gangwar, B., Govil, V. and Singh, S. K. (2013) Potassium fertilization in rice-wheat system across Northern India: Crop performance and soil nutrients. *Agronomy Journal* 105, 471-481.
- Singh, V. K., Dwivedi, B. S., Tiwari, K.N., Majumdar, K., Rani, M., Singh, S. K. and J. Timsina (2014) Optimizing nutrient management strategies for rice-wheat system in the Indo-Gangetic Plains of India and adjacent region for higher productivity, nutrient use efficiency and profits. *Field Crops Research* 164, 30-44.
- Timsina, J., Singh V. K., Majumdar K. J. (2013) Potassium management in rice-maize systems in South Asia. *Plant Nutrition and Soil Science* 176, 317-330.
- Witt, C., Dobermann, A., Abdulrachman, S., Gines, H. C., Wang, G. H., Nagarajan, R., Satawathananont, S., Son, T. T., Tan, P. S., Tiem, L. V., Simbahan, G. C. and Olk, D. C. (1999) Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. *Field Crops Research* 63, 113-138.

Рецензирование и редактирование перевода с английского-го: В.В. Носов.

## Повышение уровня обеспеченности почв калием в Китае при выращивании наиболее рентабельных сельскохозяйственных культур

Пинг Хи, Фэнг Чен, Шутан Ли, Шихуа Ту, Адриан М. Джонстон

Для разработки оптимальной системы применения калийных удобрений очень важна оценка калийного состояния почв. Литературные данные свидетельствуют о том, что недостаток калия у растений – это проблема мирового масштаба. Однако обеспеченность почв калием в Китае стала улучшаться в результате развития механизации растениеводства и реализации политики Центрального правительства, поощряющей внесение соломы на поля после уборки и увеличение использования органических удобрений (компостов). Тем не менее, ряд противоречивых сообщений об изменениях в содержании доступных форм калия в почвах вызывает обеспокоенность в научной среде, а также у производителей минеральных удобрений. Данные противоречия могут быть вызваны расхождениями в точках отбора почвенных образцов, их количестве, сроках отбора и используемых аналитических методах. До настоящего времени влияние применения минеральных (калийных) удобрений на состояние калия в почвах не вызывало озабоченности в сравнении, например, с азотом и фосфором. О текущем состоянии калия в почвах Китая нельзя судить, исходя из результатов почвенного обследования национального масштаба, проведенного в стране в начале 1980-х годов. В современных условиях несбалансированное применение калийных удобрений относительно азотных и фосфорных удобрений и высокий вынос калия из почвы с урожаем новых высокоурожайных генотипов может негативно отражаться на балансе калия в почвах Китая. Следовательно, данный вопрос нуждается в проработке.

Цель данного исследования заключалась в том, чтобы оценить пространственное и временное варьирование содержания доступных форм калия

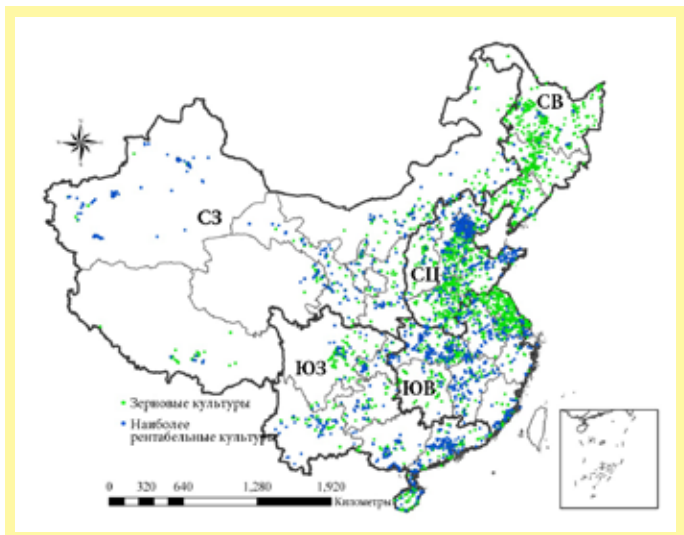
в почве, а также отзывчивость сельскохозяйственных культур на применение калийных удобрений в Китае за период 1990-2012 гг.

### Объекты и методы исследования

В качестве источника данных по содержанию доступных форм калия в почвах и урожайности сельскохозяйственных культур были использованы опубликованные и неопубликованные материалы за 1990-2012 гг., включенные в базу данных Программы Международного института питания растений (IPNI) по Китаю. В общей сложности из указанной базы данных было отобрано 58559 наблюдений по содержанию доступных форм калия в почвах (рис. 1) и 2055 наблюдений – по урожайности сельскохозяйственных культур. Полевые опыты проводились на полях фермеров. Учитывалась урожайность культур в первом сезоне в вариантах с внесением азотных, фосфорных и калийных удобрений (NPK), дозы которых рассчитывались исходя из результатов почвенных анализов, и в вариантах с внесением только азотных и фосфорных удобрений (NP).

Оценка пространственного варьирования содержания доступных форм калия в почвах была проведена для следующих 5-ти сельскохозяйственных регионов Китая, выделенных с учетом географического местоположения и административного деления страны: Северо-Восточный (СВ), Северо-Центральный (СЦ), Северо-Западный (СЗ), Юго-Восточный (ЮВ) и Юго-Западный (ЮЗ) регионы.

В каждом сельскохозяйственном регионе отдельно анализировались система земледелия с преобладанием зерновых культур, а также система земледелия,



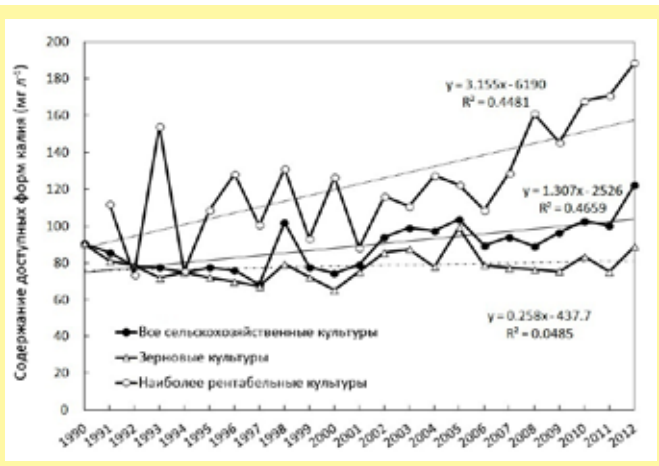
**Рис. 1.** Географическое распределение полевых опытов в 5-ти сельскохозяйственных регионах Китая (1990-2002 гг.). Зеленым и синим цветами показаны соответственно опыты с зерновыми и наиболее рентабельными культурами.

включающая выращивание наиболее рентабельных культур. В зерновых севооборотах выращивались пшеница, кукуруза, рис, а также картофель и соя. Наиболее рентабельные сельскохозяйственные культуры – это овощные и плодовые культуры, рапс, подсолнечник, хлопчатник, а также сахароносные культуры. Как следует из «Ежегодного сборника по сельскому хозяйству Китая» (China Agriculture Yearbook, 2012), при выращивании данных культур вносятся самые высокие дозы удобрений, и получается максимальная экономическая отдача. Географическое местоположение районов получения экспериментальных данных показано на **рис. 1**.

## Результаты

### *Изменения в содержании доступных форм калия в почвах фермерских полей за период 1990-2012 гг.*

Обобщение результатов всех полевых опытов (со всеми сельскохозяйственными культурами), проведенных в Китае в период 1990-2012 гг., свидетельствует о тенденции к увеличению содержания доступных форм калия в почвах (**рис. 2**). Для более детального анализа всех факторов, оказывающих влияние на содержание доступных форм калия в почве, мы разделили полученную выборку на две части – зерновые севообороты и система земледелия, включающая выращивание наиболее рентабельных культур. Обеспеченность почв калием улучшилась при обеих системах земледелия за период 1990-2012 гг. Для зерновых севооборотов были характерны ежегодные колебания в содержании доступных форм калия в почвах, но явного повышения обеспеченности почв данным элементом питания все-таки выявлено не было. Однако для систем земледелия с выращиванием наиболее рентабельных культур отмечается существенное увеличение содержания доступных форм калия в почвах за указанный период. Дозы калийных удобрений, внесенные под зерновые культуры, составили в среднем  $110 \text{ кг K}_2\text{O га}^{-1}$  (диапазон:  $30\text{--}360 \text{ кг K}_2\text{O га}^{-1}$ ). Под наиболее рентабельные культуры было внесено в среднем  $255 \text{ кг K}_2\text{O га}^{-1}$  (диапазон:  $15\text{--}1867 \text{ кг K}_2\text{O га}^{-1}$ ) (данные не представлены). Полу-



**Рис. 2.** Динамика содержания доступных форм калия в почвах Китая в период 1990-2012 гг.

ченные результаты свидетельствуют о том, что применение высоких доз калийных удобрений под наиболее рентабельные сельскохозяйственные культуры в Китае способствовало повышению содержания доступных форм калия в почвах, что отразилось на обеспеченности почв калием в стране в целом.

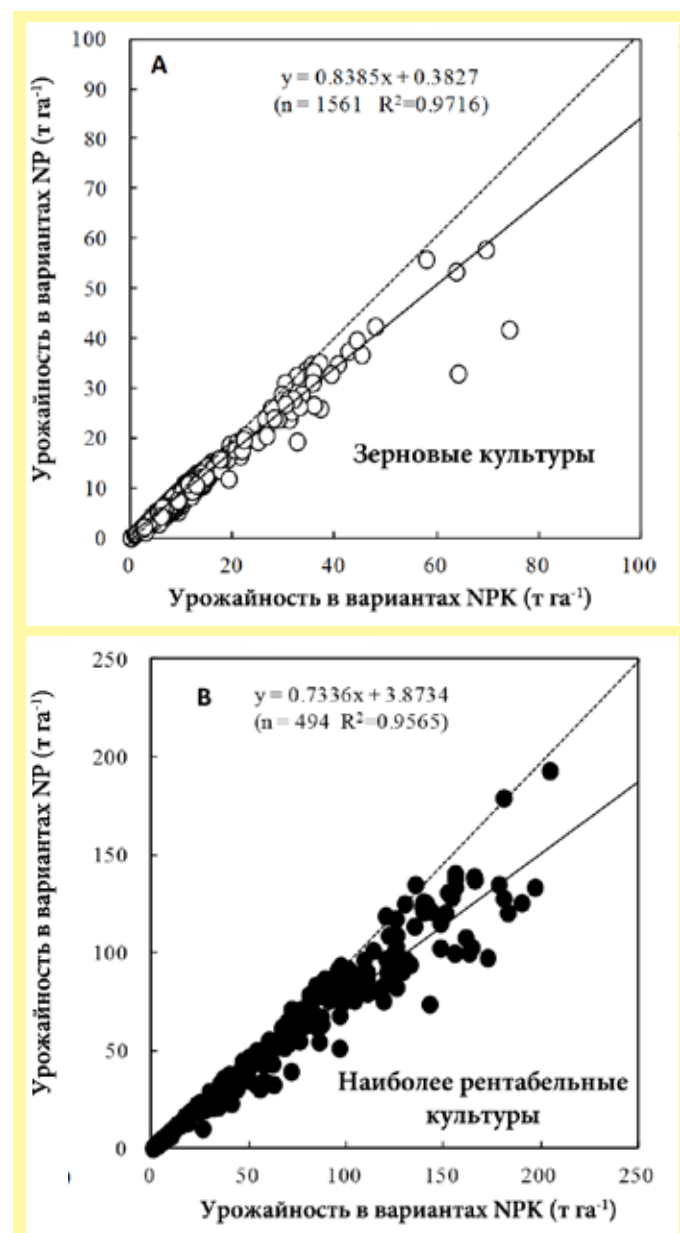
### *Пространственное и временное варьирование содержания доступных форм калия в почвах*

Системы сбалансированного применения удобрений стали внедряться в Китае в 1980-х годах, а с 1990-х годов основное внимание стало уделяться внесению калийных удобрений. Однако содержание доступных форм калия в почвах сильно варьирует в различных регионах – средние значения составляют 76,8, 99,8, 118,0, 83,9 и 81,3  $\text{мг К л}^{-1}$  соответственно в пяти регионах (СВ, СЦ, СЗ, ЮВ и ЮЗ). Для оценки изменений в содержании доступных форм калия в почвах Китая за 1990-2012 гг. мы сравнили указанный показатель для двух периодов – 1990-е годы (1990-1999 гг.) и 2000-е годы (2000-2012 гг.). Полученные данные показывают, что в период с 1990-х по 2000-е годы содержание доступных форм калия в почвах повысилось в среднем с 79,8 до 93,4  $\text{мг К л}^{-1}$ . За указанный период не произошло изменений на Северо-Востоке (СВ) страны. Однако за тот же период содержание доступных форм калия в почвах повысилось соответственно на 34,8% (с 76,4 до 103,0  $\text{мг К л}^{-1}$ ), 17,9% (с 71,5 до 84,3  $\text{мг К л}^{-1}$ ) и 30,2% (с 68,8 до 82,7  $\text{мг К л}^{-1}$ ) в трех регионах (СЦ, ЮВ и ЮЗ) и снизилось на 75,9% (с 153,5 до 116,5  $\text{мг К л}^{-1}$ ) в одном регионе (СЗ) (**рис. 3А**).

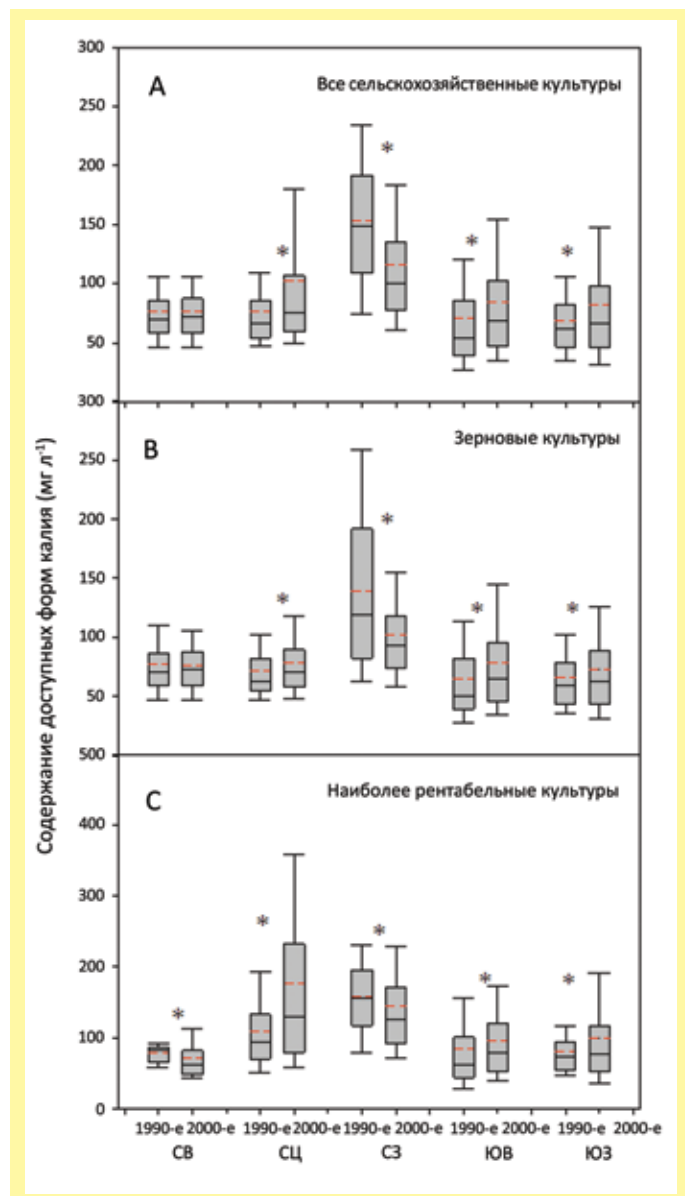
Более детальный анализ данных показывает, что для содержания доступных форм калия в почвах в зерновых севооборотах были характерны те же тенденции, что и для всей массы опытов (со всеми культурами), однако изменения зависели от конкретного региона (**рис. 3В**). В трех регионах (СЦ, ЮВ и ЮЗ) содержание доступных форм калия в почвах в 2000-х годах повысилось соответственно на 8,7, 21,0 и 8,7% по сравнению с уровнями в 72,2, 65,1 и 66,4  $\text{мг К л}^{-1}$ , наблюдавшимися в 1990-х годах. Тем не менее, в Северо-Западном регионе (СЗ) за указанный период рассматриваемый показатель снизился на 73,5% (**рис. 3В**).

В 2000-х годах по сравнению с 1990-ми годами в системах земледелия, включающих выращивание наиболее рентабельных культур, содержание доступных форм калия в почвах повысилось соответственно на 59,7, 12,4 и 22,2% в трех регионах (СЦ, ЮВ и ЮЗ), однако снизилось и составило соответственно 92,5 и 91,7%

новых культур за период 1990-2012 гг. В то же время при выращивании наиболее рентабельных культур наблюдается значимое повышение содержания доступных форм калия в почвах. Указанные положительные изменения в калийном состоянии почв хорошо согласуются с применением более высоких доз калийных удобрений под наиболее рентабельные культуры. Средние дозы калийных удобрений, внесенные под вышеуказанные культуры в 5-ти регионах (СВ, СЦ, СЗ, ЮВ и ЮЗ), составили соответственно 164, 231, 205, 240 и 391 кг  $K_2O$  га<sup>-1</sup>. Это в 1,7, 2,1, 1,7, 2,1 и 2,8 раза выше по сравнению с внесением калия под зерновые культуры (данные не представлены). Следует отметить, что в 2000-х годах в зерновых севооборотах содержание доступных форм калия в почвах было менее 80 мг К л<sup>-1</sup> (критическое значение, ниже которого наблюдается недостаток калия у растений), за исключением Северо-Запада (СЗ). Следовательно, при выращивании зерновых культур необходимо увеличить дозы калийных удобрений, поскольку обеспеченность почв калием в данных системах земледелия была ниже



**Рис. 4.** Урожайность в вариантах с внесением NP и NPK у двух групп сельскохозяйственных культур: А – зерновые культуры; В – наиболее рентабельные культуры. Пунктирная линия показывает соотношение урожайности 1:1.



**Рис. 3.** Изменение содержания доступных форм калия в почвах: А – все сельскохозяйственные культуры; В – зерновые культуры; С – наиболее рентабельные культуры.

Звездочки (\*) указывают на статистически значимые различия ( $P < 0.05$ ) между 1990-ми и 2000-ми годами. Черная и красная линия, нижний и верхний край закрашенных столбцов, нижняя и верхняя границы – это соответственно медиана и среднее значение, 25-й и 75-й процентиля, 5-й и 95-й процентиля.

от уровня 1990-х годов в двух регионах (СВ и СЗ).

Таким образом, повышение содержания доступных форм калия в почвах двух регионов (СЦ и ЮЗ) произошло, главным образом, за счет значительного обогащения почв калием при выращивании наиболее рентабельных культур, а в одном регионе (ЮВ) – в основном за счет более выраженного обогащения почв калием в зерновых севооборотах. Снижение содержания доступных форм калия в почвах Северо-Запада (СЗ) наблюдалось, главным образом, за счет значительного обеднения почв калием в зерновых севооборотах (рис. 3С).

## Обсуждение и выводы

Результаты, полученные в данном исследовании, свидетельствуют о слабом повышении содержания доступных форм калия в почвах при выращивании зер-

критического уровня. Кроме того, не наблюдалось роста калийсодержащей способности почв. Данные по относительной урожайности культур, полученные в широкомасштабных полевых опытах, подтверждают эти выводы. Хотя с развитием механизации растениеводства в почву стало вноситься больше растительных остатков, публикуемые в литературе данные свидетельствуют о том, что использование одной соломы недостаточно для поддержания оптимального баланса калия в почве. Для поддержания высокого уровня урожайности и оптимального баланса калия в почве необходимо применение калийных удобрений.

В системах земледелия, включающих выращивание наиболее рентабельных культур, содержание доступных форм калия в почвах было выше по сравнению с зерновыми севооборотами. При этом в вариантах без внесения калия относительная урожайность наиболее рентабельных культур была ниже, чем у зерновых культур. Это свидетельствует о том, что снижение урожайности в вариантах с внесением NP (без K) по сравнению с вариантами с внесением NPK было сильнее выражено у наиболее рентабельных культур (данные не представлены). Эти выводы также подтверждаются более высокой отзывчивостью наиболее рентабельных культур на применение калийных удобрений по сравнению с зерновыми культурами (рис. 4). Полученные результаты указывают на то, что вклад калия почвы в формирование урожайности зерновых культур выше по сравнению с наиболее рентабельными культурами. В связи с этим для достижения оптимального уровня урожайности наиболее рентабельных культур, имеющих более высокую отзывчивость на калий, требуется внесение большего количества калийных удобрений.

Кроме того, вынос калия с урожаем наиболее рентабельных культур выше, чем у зерновых культур.

В заключение следует отметить, что содержание доступных форм калия в почвах Китая повысилось за период 1990-2012 гг. Данное повышение произошло за счет обогащения почвы калием при внесении высоких доз калийных удобрений при выращивании наиболее рентабельных сельскохозяйственных культур. Важно подчеркнуть, что калийные удобрения необходимо вносить не только под наиболее рентабельные культуры, которые хорошо отзываются на применение калия, но и под зерновые культуры при низкой обеспеченности почвы калием. Для решения данных вопросов необходимо использование региональных подходов, разработанных с учетом конкретных почвенно-климатических условий. Информация, полученная в нашей работе, также указывает направления дальнейших исследований, включая изучение критических уровней содержания доступных форм калия в почвах для разных сельскохозяйственных культур и круговорота калия в земледелии, а также проработку концепции «4-х правил» применения удобрений с учетом развития механизации растениеводства.

## Литература

*Дополнительную информацию можно получить из статьи П. Хи с соавт., опубликованную в журнале Field Crops Research (2015, 173: 49-56): <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.01.003>.*

*Рецензирование и редактирование перевода с английского: В.В. Носов.*

# Признаки дефицита калия у сельскохозяйственных культур



Люцерна



Люцерна



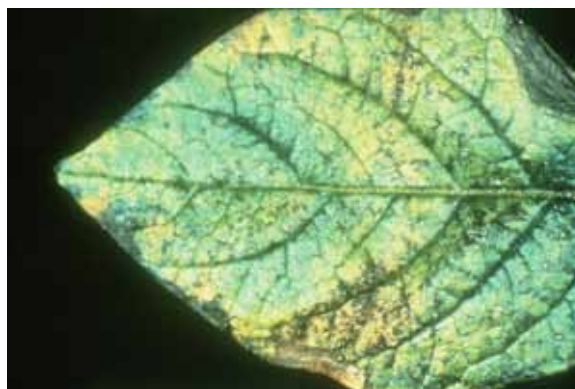
Тыква



Картофель



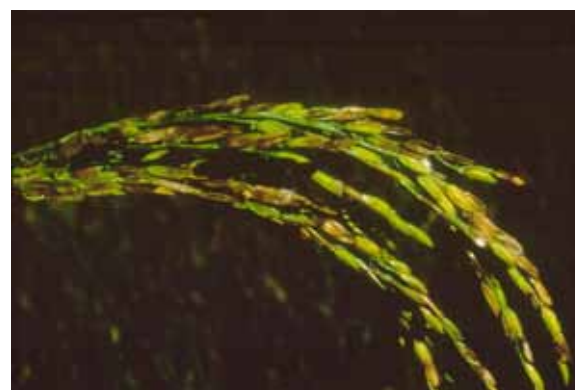
Картофель



Картофель



Рис



Рис



Рис



Рис



Рис



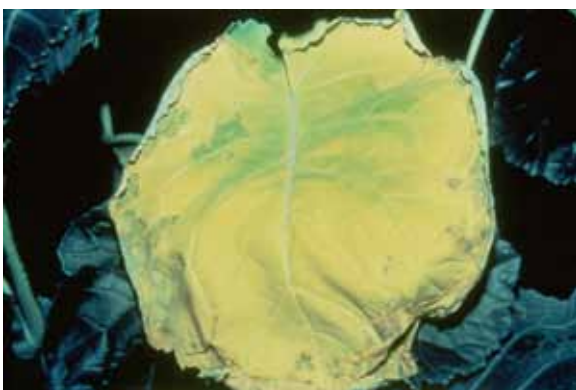
Рис



Рапс



Рапс



Рапс



Рапс



Соя



Соя



Соя



Соя



Соя



Соя



Соя



Соя





Кукуруза



Кукуруза



Кукуруза



Ячмень



Кукуруза



Кукуруза



Сорго



Сорго



Сорго



Пшеница



Клевер



Пшеница



Редис



Пшеница



Яблоня



Яблоня



Ячмень



Ячмень



Сахарная свекла



Хлопчатник



Хлопчатник

# Компании - члены IPNI

	Agrium Inc.		Shell Sulphur Solutions
	Arab Potash Company		Simplot
			Sinofert Holdings Limited
	BHP Billiton		SQM
	CF Industries Holdings, Inc.		Uralchem
	Compass Minerals Speciality Fertilizers		Uralkali
	International Raw Materials LTD		Yara International
	LUXI Fertilizer Industry Group		Arab Fertilizer Association (AFA)
	K+S KALI GmbH		Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA)
	The Mosaic Company		Fertilizer Canada
	OCP S.A.		Fertiliser Association of India (FAI)
	PhosAgro		The Fertilizer Institute (TFI)
	PotashCorp		International Fertilizer Association (IFA)
	Kingenta Ecological Engineering Group Co., Ltd.		International Potash Institute (IPI)
	The Sulphur Institute		



МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ  
ИНСТИТУТ

Восточная Европа и Центральная Азия

125466 Российская Федерация, Москва, ул. Ландышевая, д.12, пом. 17а

Тел./Факс: 8 (495) 580 64 14

<http://eeca-ru.ipni.net>

<http://www.ipni.net>

[ipni-eeca@ipni.net](mailto:ipni-eeca@ipni.net)

*Выше урожай и качество, сохраняя окружающую среду...  
С помощью науки*

