



Питание растений

Вестник Международного института питания растений

Восточная Европа и Центральная Азия

№1, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Первые результаты научного проекта по совершенствованию рекомендаций по внесению калийных удобрений в России.....2

Оптимизация минерального питания кукурузы и сои на черноземе обыкновенном карбонатном в Ростовской области.....5

Динамика поглощения элементов питания современными гибридами кукурузы.....8

Обзор научных публикаций.....13

Уважаемый читатель, в этом выпуске вестника мы публикуем статьи с результатами наших первых научно-практических проектов, проведенных в России. Начиная с 2010 Международный институт питания растений проводит Глобальный проект по кукурузе, направленный на разработку агротехнологий возделывания кукурузы, удовлетворяющих критериям экологической интенсификации. В рамках этого проекта исследования одновременно проводятся в России, США, Аргентине, Бразилии, Китае, Индии, Мексике, Колумбии и Кении. В России полевые опыты проводятся в сотрудничестве с Южным федеральным университетом и Целинским ГСУ. Результаты трех лет исследований показывают, что в условиях Ростовской области экологическая интенсификация способствует существенному росту урожайности зерна кукурузы и сои по сравнению со сложившейся практикой хозяйств, а также позволяет улучшить качество продукции. Проведенная оценка экономической эффективности применения фосфорных и калийных удобрений свидетельствует о рентабельном применении повышенных доз фосфора и калия под кукурузу в современных условиях.

Осенью 2012 года стартовал наш совместный проект с Всероссийским НИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова направленный на совершенствование рекомендаций по внесению калийных удобрений и корректировке существующих градаций обеспеченности почв калием в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Этот проект реализуется в Липецкой, Воронежской, Белгородской и Ростовской областях. В рамках проекта проводятся 3-х летние производственные опыты с калийными удобрениями на сахарной свекле, кукурузе на зерно, сое и рапсе. Результаты первого года исследования свидетельствует о значительном недоборе урожая при невнесении калийных удобрений даже на черноземах и серых лесных почвах с повышенной и высокой обеспеченностью калием для всех изученных культур.

Наш филиал начинает продажу новых изданий на русском языке – «Международное практическое руководство по применению удобрений и оптимизации питания растений - 4R Стратегия», «Руководство по диагностике и предупреждению недостатка элементов питания у зерновых культур», а также монографию Багринцевой В.Н. «Питание зерновых колосовых культур на каштановых почвах Ставрополья». Эти книги можно приобрести в нашем филиале. Пожалуйста, отправляйте Ваши заявки на aerofeeva@ipni.net

С уважением,
Светлана Иванова.

Международный Институт Питания Растений

Иванова С.Е., вице-президент программы по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку
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

125466 Россия, Москва,
ул. Ландышева, д. 12, вл. 17
тел./факс: +7 (495) 580 64 14

сайт: <http://www.ipni.net>
<http://eeca-ru.ipni.net>

e-mail: ipni-eeca@ipni.net

Перепечатка и любое воспроизведение материалов, опубликованных в Вестнике, возможны только с письменного разрешения Международного института питания растений
© Международный институт питания растений 2014



125466 Москва ул.Ландышева, д.12, вл.17

<http://www.ipni.net>

<http://eeca-ru.ipni.net>

© Международный институт питания растений 2014

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 корректи-

ровке 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 производственные 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 темносерой 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

Таблица 1. Урожайность и сбор сахара в опытах с сахарной свёклой

| Показатель | Урожайность корнеплодов, т/га | Сбор сахара, т/га | Урожайность корнеплодов, т/га | Сбор сахара, 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 К при максимальной урожайности | 14.18 | 2.48 | 12.40 | 2.47 |
| НСР05 | 9,59 | | 1,16 | |

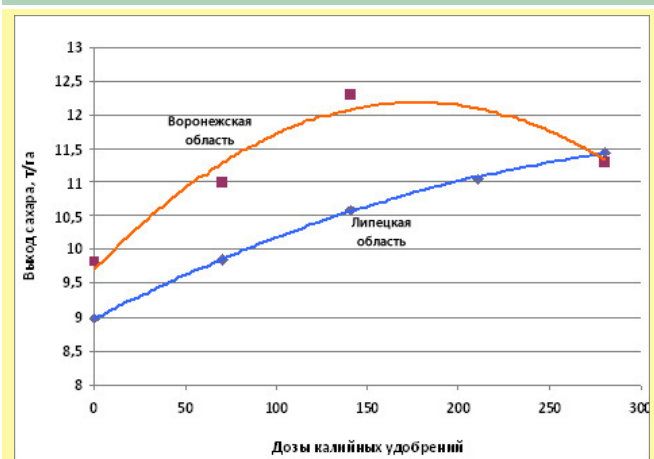


Рис. 1. Влияние доз калийных удобрений на сбор сахара в опытах 2013. Графики: оранжевый - Воронежская область, синий - Липецкая область.



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

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, определенное 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 К₂О/га (NPK1), фон+140 кг К₂О/га (NPK2), фон +210 кг К₂О/га (NPK3), фон +280 кг К₂О/га (NPK4). Калийные удобрения вносились в виде хлористого калия. Дозы калийных удобрений

запланированы с учетом изучения их последствие 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 К₂О/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 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

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 | | |
| NPK1 | 14 | 10 619 | 10 | 5 298 |
| NPK2 | 34 | 22 297 | 16 | 8 757 |
| NPK3 | 16 | 11 874 | 20 | 10 774 |
| NPK4 | 17 | 12 701 | 23 | 12 401 |
| Белгородская область, кукуруза на зерно | | Воронежская область, кукуруза на зерно | | |
| NPK1 | 10 | 2 344 | 2 | 2 111 |
| NPK2 | 7 | 2 763 | 27 | 7 974 |
| NPK3 | 5 | 3 182 | -9 | 3 184 |
| NPK4 | 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

| 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 |

сти 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 осадками (практически весь сентябрь), что не

| 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 | - |
| NPК1 | 60 | 10.2 | 0.4 |
| NPК2 | 120 | 11.2 | 1.4 |
| NPК3 | 180 | 10.6 | 0.8 |
| NPК4 | 240 | 10.2 | 0.4 |
| НСР05 | | 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 | - |
| NPК1 | 70 | 8.4 | 0.9 |
| NPК2 | 140 | 8.7 | 1.2 |
| NPК3 | 210 | 9.1 | 1.6 |
| NPК4 | 280 | 9.4 | 1.9 |
| НСР05 | | 1,2 | |

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 сентябре рост сахарной свеклы 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 показатели 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@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 - кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, 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

Оптимизация минерального питания кукурузы и сои на черноземе обыкновенном карбонатном в Ростовской области

Носов В.В., Бирюкова О.А., Купров А.В. и Божков Д.В.

Рассмотрены результаты стационарного опыта в севообороте кукуруза – соя, а также краткосрочных опытов с кукурузой, проведенных в 2011-13 гг. в Ростовской области. Согласно полученным результатам, экологическая интенсификация способствует росту урожайности кукурузы и сои, а также повышению качества сои по сравнению со сложившейся практикой применения минеральных удобрений в хозяйствах. В статье обоснована экономическая целесообразность применения фосфорных и калийных удобрений под кукурузу в современных условиях.

Экологической интенсификации – повышению продуктивности сельскохозяйственных культур без причинения какого-либо ущерба агроэкосистемам – отводится важная роль в дальнейшем обеспечении глобальной продовольственной безопасности (Cassman, 1999). Экологическая интенсификация подразумевает использование современных достижений в том числе и в области минерального питания растений. Поэтому при совершенствовании агротехнологий вопросам почвенного плодородия должно уделяться самое серьезное внимание. В этой связи Международный институт питания растений проводит Глобальный проект по кукурузе, направленный на разработку агротехнологий возделывания кукурузы, удовлетворяющих критериям экологической интенсификации (Murrell, 2012). Исследования

одновременно проводятся в США, Аргентине, Бразилии, Китае, Индии, Мексике, Колумбии и Кении.



Соя в стационарном опыте (3 августа 2011 г.).

Слева направо: В.В. Носов, А.В. Купров и О.А. Бирюкова.

В России полевые опыты были начаты в 2011 г. в сотрудничестве с Южным федеральным университетом, а также Целинским ГСУ, где был заложен стационарный полевой опыт в севообороте кукуруза – соя. Опыт повторяется в пространстве и ежегодно включает два экспериментальных участка (под кукурузой и соей). Предшественником в 2010 г. была озимая пшеница. В опыте сравниваются две системы применения удобрений, а именно: практика хозяйств, то есть средние дозы минеральных удобрений, применяемые в хозяйствах региона, и экологическая интенсификация. Кроме того, изучается действие азотных удобрений при использовании данных агротехнологий. Варианты опыта для кукурузы (гибрид Фурио) были следующими:

- 1) N9P40 под предпосевную культивацию;
- 2) N30P40 под предпосевную культивацию (практика хозяйств);
- 3) N17P70K40, включая N12P50K20 под предпосевную культивацию и N5P20K20 при посеве (2 см сбоку семян);
- 4) N85P70K40, включая N50P50K20 под предпосевную культивацию, N5P20K20 при посеве и N30 в между-рядную подкормку в стадию 3-5 листьев (экологическая интенсификация).

В вариантах 3 и 4 проводилось опудривание семян кукурузы сульфатом цинка, поскольку, по данным ГЦАС «Ростовский» (Назаренко и др., 2011), почвы Целинского района имеют низкую обеспеченность подвижным цинком.

Для сои (сорт Донская 9) изучались следующие варианты с внесением удобрений под культивацию: 1) N9P40 (практика хозяйств); 2) N20P40; 3) N10P45K30; 4) N30P45K30 (экологическая интенсификация). В вариантах 3 и 4 в первый год выращивания сои проводилась инокуляция семян ризоторфином и обработка молибдатом аммония, а в последующие годы – только обработка молибдатом аммония.

Однолетние опыты на кукурузе также проводились в течение 3-х лет: в 2011 г. – на Целинском ГСУ, а в 2012 и 2013 гг. – в СПК «Целинский». Предшественник – озимая пшеница. Цель опытов – изучение отзывчивости кукурузы на применение азотных, фосфорных и калийных удобрений. Схема опытов была следующей: 1) контроль (без удобрений); 2) N30P40 (практика хозяйств); 3) N100P80K60; 4) N18P80K60; 5) N100K60; 6) N100P80. В данных опытах применялись повышенные дозы минеральных удобрений по сравнению со стационарным опытом. Удобрения вносились под предпосевную культивацию. В вариантах 3-6 проводилась обработка семян цинком. Как и в стационарном опыте, внесение азотных удобрений полностью не исключалось, поскольку в качестве

Таблица 1. Исходная агрохимическая характеристика чернозема обыкновенного карбонатного*.

| Показатели | Стационарный опыт** | Однолетние опыты |
|---|---------------------|------------------|
| Гумус (2011 г.), % | 2.94 | 3.22 |
| pH (H ₂ O) | 7.90 | 7.68 - 7.85 |
| N-NH ₄ , мг/кг почвы | 20.0 | 14.3 - 18.9 |
| N-NO ₃ , мг/кг почвы | 14.2 | 11.8 - 15.9 |
| Подвижный P (по Мачигину), мг P ₂ O ₅ /кг почвы | 21.9 | 22.0 - 24.4 |
| Подвижный P (по Олсену), мг P ₂ O ₅ /кг почвы | 37.0 | 36.8 - 40.0 |
| Подвижный K (по Мачигину), мг K ₂ O/кг почвы | 312 | 306 - 332 |
| Обменный K (по Масловой), мг K ₂ O/кг почвы | 463 | 426 - 452 |

* Приведены средневзвешенные величины для слоя 0-20 см (исходя из результатов анализа для слоев 0-5, 5-10 и 10-20 см).
** Представлены средние значения для участков под кукурузу и сою перед закладкой опыта в 2011 г.

Таблица 2. Урожайность зерна кукурузы в стационарном опыте (т/га).

| Вариант опыта | 2011 | 2012 | 2013 | Среднее | Прибавка от повышения дозы N, % |
|---|------|------|------|---------|---------------------------------|
| N ₉ P ₄₀ | 7.64 | 6.58 | 3.96 | 6.06 | - |
| N ₃₀ P ₄₀ | 7.98 | 6.64 | 4.36 | 6.33 | 4 |
| N ₁₇ P ₇₀ K ₄₀ * | 8.19 | 6.86 | 4.20 | 6.42 | - |
| N ₈₅ P ₇₀ K ₄₀ * | 8.62 | 7.20 | 4.65 | 6.82 | 6 |
| HCP _{0.05} | 0.26 | 0.07 | 0.22 | | |

* В данных вариантах проводилась обработка семян цинком.

Таблица 3. Урожайность зерна кукурузы в однолетних опытах (т/га).

| Вариант опыта | 2011 | 2012 | 2013 | Среднее |
|--|------|------|------|---------|
| Контроль | 7.32 | 6.50 | 4.70 | 6.17 |
| N ₃₀ P ₄₀ | 7.95 | 6.83 | 5.04 | 6.61 |
| N ₁₈ P ₈₀ K ₆₀ * | 8.15 | 6.77 | 5.47 | 6.80 |
| N ₁₀₀ K ₆₀ * | 7.79 | 7.04 | 5.72 | 6.85 |
| N ₁₀₀ P ₈₀ * | 8.28 | 7.25 | 5.84 | 7.12 |
| N ₁₀₀ P ₈₀ K ₆₀ * | 8.83 | 7.37 | 5.99 | 7.40 |
| HCP _{0.05} | 0.26 | 0.09 | 0.20 | |

* В данных вариантах проводилась обработка семян цинком.

источника фосфора использовался аммофос. Применялись также аммиачная селитра и хлористый калий. Повторность в опытах – 4-х кратная. Уборку урожая проводили прямым комбайнированием, а расчеты делали по методике, описанной А. Доберманном (Dobermann, 2005).

Почва в опытах – чернозем обыкновенный карбонатный. В табл. 1 представлена его исходная агрохимическая характеристика. Почва в целом имеет щелочную реакцию среды, низкое содержание гумуса и хорошую обеспеченность нитратным азотом (для слоя 0-20 см). Содержание подвижных форм фосфора и калия (по Мачигину) было средним и повышенным соответственно. Определялось также содержание подвижного фосфора по методу Олсена и обменного калия по методу Масловой (Минеев и др., 2001). Если применить группировку обеспеченности почв фосфором, разработанную для метода Олсена в Украине (Христенко и Иванова, 2011), то обеспеченность почвы фосфором следует считать повышен-

| Вариант опыта | 2011 | 2012 | 2013 | Среднее | Прибавка от повышения дозы N, % |
|---|------|------|------|---------|---------------------------------|
| N ₉ P ₄₀ | 1.83 | 1.23 | 1.70 | 1.59 | - |
| N ₂₀ P ₄₀ | 1.89 | 1.28 | 1.93 | 1.70 | 7 |
| N ₁₀ P ₄₅ K ₃₀ * | 2.08 | 1.47 | 2.04 | 1.86 | - |
| N ₃₀ P ₄₅ K ₃₀ * | 2.23 | 1.52 | 2.19 | 1.98 | 6 |
| НСР _{0.05} | 0.11 | 0.11 | 0.16 | | |

* В данных вариантах в первый год выращивания сои проводилась инокуляция семян и обработка молибденом, а в последующие годы – только обработка молибденом.

| Вариант опыта | Содержание, %** | | Сбор, кг/га | |
|---|-----------------|------|-------------|------|
| | Белка | Жиры | Белка | Жиры |
| N ₉ P ₄₀ | 40.1 | 18.3 | 556 | 248 |
| N ₂₀ P ₄₀ | 42.4 | 17.8 | 629 | 260 |
| N ₁₀ P ₄₅ K ₃₀ * | 43.4 | 19.2 | 706 | 309 |
| N ₃₀ P ₄₅ K ₃₀ * | 45.6 | 19.2 | 789 | 328 |

* Примечания, как в табл. 4. ** На абсолютно сухое вещество.

ной. Исходное содержание обменного калия во всех опытах было очень высоким.

Наиболее благоприятные погодные условия наблюдались в 2011 г., когда в сумме за июнь-июль выпало 92 мм осадков, согласно данным метеостанции, установленной на стационарном опыте. В 2012 г. этот показатель снизился до 71 мм, а в 2013 – до 39 мм. Соответственно, последний год исследований был наименее благоприятным для роста и развития растений кукурузы, что привело к сильному снижению урожайности (табл. 2, 3). В краткосрочных опытах оно было менее резким по сравнению со стационаром, поскольку в указанном сезоне оправдался более ранний посев кукурузы. Для сои 2013 г. не был таким неблагоприятным, как для кукурузы, в связи с выпадением достаточного количества осадков в августе (49 мм). Для данной культуры наиболее неблагоприятные условия сложились в 2012 г. из-за засушливого августа (25 мм). Соответственно в этом году была получена минимальная урожайность сои (табл. 4).

Как следует из табл. 2, экологическая интенсификация с внесением N85P70K40 под кукурузу способствовала получению 6.82 т/га зерна в среднем за 3 года исследований, что на 8% выше по сравнению с практикой хозяйств (N30P40). В среднем за 2011-13 гг. относительная прибавка урожайности при повышении доз азотных удобрений на двух изученных фонах была невысока и составила 4-6%, что объясняется хорошей обеспеченностью почвы минеральным азотом как перед закладкой опыта, так и в дальнейшем при возделывании кукурузы после сои (данные не представлены).



Кукуруза в стационарном опыте (30 июля 2013 г.). Варианты N30P40 (слева) и N85P70K40 (справа).

В краткосрочных опытах максимальная урожайность зерна кукурузы (7.40 т/га в среднем за 3 года) была получена в варианте с внесением полного минерального удобрения – N100P80K60 (табл. 3). Прибавка урожайности относительно контроля составила в среднем 20%, а по сравнению с практикой хозяйств – 12%. Увеличение дозы азота с 18 до 100 кг/га способствовало росту урожайности на 8-10% по годам исследований. Максимальная прибавка урожайности от фосфора в 13% была получена в наиболее благоприятном 2011 г., когда продуктивность культуры была максимальной. В 2012-13 гг. прибавка урожайности от фосфора составила 5%. Достоверная прибавка урожайности от калия в 7% также наблюдалась только в благоприятном 2011 г. В остальные годы она не превышала 2-3%.

Таким образом, результаты проведенных краткосрочных опытов свидетельствует о том, что применение фосфорных удобрений дает устойчивую и достоверную прибавку урожайности кукурузы на изученной почве. Это во многом соответствует среднему классу обеспеченности почвы подвижным фосфором (по Мачигину). Отзывчивость кукурузы на внесение в почву калийных удобрений наиболее сильно проявляется при формировании урожайности зерна, близкой к 9 т/га. Следовательно, калийснабжающая способность изученной почвы, имеющей повышенную обеспеченность подвижным калием, недостаточна для удовлетворения потребностей растений в калии при высоком уровне продуктивности.

Агрономическая эффективность фосфорных и калийных удобрений (окупаемость прибавкой урожая зерна кукурузы) в среднем за 3 года составила 6.9 и 4.7 кг зерна/кг д.в. соответственно. Это достаточно высокие показатели с учетом применения повышенных доз фосфора и калия в краткосрочных опытах. По нашим оценкам, в текущих экономических условиях порог окупаемости фосфора прибавкой урожая кукурузы составляет порядка 6.4 кг зерна на 1 кг P₂O₅. Для калия этот показатель равен примерно 3.2 кг зерна на 1 кг K₂O. При данном анализе мы исходили из средних цен 4-го квартала 2013 г. на зерно кукурузы и удобрения – аммофос и стандартный хлористый калий (при поставке насыпью и 30-процентной наценке на дистрибуцию).

Экологическая интенсификация с внесением

ем N30P45K30 под сою способствовала получению максимальной урожайности семян – 1.98 т/га в среднем за 3 года исследований (табл. 4), что на 25% выше по сравнению с практикой хозяйств (N9P40). Прибавка урожайности в результате повышения доз азотных удобрений на двух изученных фонах не всегда была достоверной и в среднем за 2011-13 гг. составила 6-7%. Однако увеличение доз азота способствовало существенному повышению содержания белка в семенах сои (в среднем на 2.2-2.3%). При приросте в урожайности семян это обеспечило значительное увеличение сбора белка (табл. 5). Максимальный сбор белка (789 кг/га в среднем за 3 года) был получен в варианте с внесением N30P45K30. Таким образом, результаты 3-х лет исследований свидетельствуют о том, что на черноземе обыкновенном карбонатном в условиях Южной природно-сельскохозяйственной зоны Ростовской области можно считать оправданным внесение азота под сою в дозе 30 кг/га для повышения урожайности и качества продукции.

В заключение следует отметить, что оптимизация минерального питания кукурузы и сои на черноземе обыкновенном карбонатном – это важный фактор повышения продуктивности культур. Согласно полученным результатам, экологическая интенсификация способствует росту урожайности зерна кукурузы на 8%, а семян сои – на 25% по сравнению со сложившейся практикой хозяйств. Кроме того, использование агротехнологий возделывания сои, удовлетворяющих критериям экологической интенсификации, позволяет улучшить качество продукции – повысить содержание белка в семенах. Проведенная оценка экономической эффективности применения фосфорных и калийных удобрений свидетельствует о рентабельном применении повышенных доз фосфора и калия под кукурузу в современных условиях.

Динамика поглощения элементов питания современными гибридами кукурузы

Р.Р. Бендер, Дж.В. Хаегеле, М.Л. Руффо и Ф.Е. Белоу

Достижения в области биотехнологии, селекции и агрономии способствовали росту урожайности кукурузы. Тем не менее, проведено сравнительно мало исследований по разработке систем применения удобрений, способствующих максимальному использованию потенциала урожайности современных гибридов кукурузы. Практика применения удобрений, основанная на разработках десятилетней давности, может не отвечать потребностям современных гибридов кукурузы в элементах питания. Современные гибриды защищены от насекомых-вредителей с помощью методов генной инженерии и возделываются при более высокой густоте стояния, чем раньше. Переоценка динамики потребления и распределения элементов питания по органам растений может стать основой для совершенствования текущей практики применения удобрений под кукурузу с целью максимального использования потенциала урожайности.

Согласно обобщению, проведенному Бруулсемой с соавт. (Bruulsema et al., 2012), оптимизация системы применения удобрений включает оптимизацию форм, доз, сроков и способов внесения удобрений. На этом основана концепция «4-х правил»

Носов В.В. – региональный директор по Югу и Востоку России Международного института питания растений, кандидат биологических наук; e-mail: vnosov@ipni.net.

Бирюкова О.А. – доцент кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета, доктор сельскохозяйственных наук; e-mail: olga_alexan@mail.ru.

Купров А.В. – директор Целинского ГСУ, кандидат сельскохозяйственных наук.

Божков Д.В. – аспирант кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета.

Литература

- Cassman K.G. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 96: 5952-5959.
- Murrell T.S. 2012. Introduction to Ecological Intensification and the Global Maize Project of IPNI. Presentation made at the XIX Congreso Latinoamericano y XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. 16-20 Abril. 2012.
- Назаренко О.Г., Пашиковская Т.Г., Продан В.И. и Чеботникова Е.А. 2011. Нормативы основных показателей плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области. *Рассвет: ГЦАС «Ростовский»*. 68 с.
- Dobermann A. 2005. Procedure for measuring dry matter, nutrient uptake, yield and components of yield in maize. Version 1.1. University of Nebraska-Lincoln. 12 p.
- Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А., Большеева Т.Н. и др. 2001. *Практикум по агрохимии*. М.: Изд-во МГУ. 689 с.
- Христенко А.А. и Иванова С.Е. 2011. Питание растений. *Вестник Международного института питания растений*, 2: 6-9.

Таблица 1. Поглощение и вынос макро- и микроэлементов растениями кукурузы в полевых опытах, проведенных в Урбана и Де-Калбе, штат Иллинойс (2010 г.).

| Элемент питания | Поглощение | Вынос с урожаем | Относительный вынос с урожаем зерна, % | Вынос с 1 т зерна, кг |
|-------------------------------|---------------------|-----------------|--|-----------------------|
| | надземной биомассой | зерна | | |
| | ----- кг/га ----- | | | |
| N | 286.7 | 165.8 | 58 | 11.4 |
| P ₂ O ₅ | 113.1 | 89.6 | 79 | 6.3 |
| K ₂ O | 201.6 | 66.1 | 33 | 4.6 |
| S | 25.8 | 14.6 | 57 | 1.1 |
| Zn | 0.50 | 0.31 | 62 | 0.02 |
| B | 0.08 | 0.02 | 23 | 0.001 |

Приведены средние значения для 6-ти гибридов, возделываемых в двух полевых опытах (средняя урожайность – 14.42 т/га). Относительный вынос элемента питания с урожаем зерна – процентное соотношение между выносом с урожаем зерна и поглощением надземной биомассой растений.

Вынос элемента питания с урожаем зерна, кг/га = Урожайность зерна, т/га × Вынос элемента питания с 1 т зерна, кг.



Полностью выполненные початки кукурузы свидетельствуют о том, что потребность растений в элементах питания удовлетворялась за счет их поступления из почвы.

кукурузы и используемые в то время агротехнологии. Возможно, результаты этих исследований нельзя переносить на современные гибриды кукурузы с учетом созданных высокопродуктивных агроценозов. Цель работы состояла в том, чтобы изучить поглощение и усвоение элементов питания современными высокоурожайными трансгенными гибридами кукурузы, устойчивыми к насекомым-вредителям.

Содержание N, P, K, S, Zn и B в растениях определялось в следующие фазы развития кукурузы: 6, 10 и 14 листьев; водянистая спелость; восковая спелость; физиологическая спелость (Hanway, 1963). Полевые опыты были проведены в Агрономическом научно-исследовательском центре Северного Иллинойса (г. Де-Калб) и в Научно-исследовательском и образовательном центре по растениеводству (г. Урбана) в штате Иллинойс (США). Изучалось 6 гибридов кукурузы с продолжительностью вегетационного периода 111-114 дней. Данные гибриды обладают генетической устойчивостью к повреждению западным кукурузным жуком (*Diabrotica virgifera virgifera*), кукурузным мотыльком (*Ostrinia nubilalis*) и другими вредителями из отряда Lepidoptera. Норма высева определялась исходя из густоты стояния растений 84 тыс./га. Для учета и анализа отбирались репрезентативные растения. Анализировались следующие части растений: 1) стебель и листовые влагалища; 2) листовые пластинки; 3) метелка, стержни почат-

ков и обертки початков; 4) зерно. Агротехнология возделывания кукурузы включала применение почвенного инсектицида при посеве, а также внесение вразброс 168 кг P₂O₅/га в форме MicroEssentials® SZTM и 202 кг N/га в форме карбамида. В фазу 6-ти листьев была проведена междурядная подкормка азотом в дозе 67 кг N/га в форме Super-U (карбамид с ингибитором уреазы и ингибитором нитрификации). В период выметывания метелки – выбрасывания нитей початка провели обработку фунгицидом.

Потребление и вынос элементов питания растениями

В проведенных в 2010 г. двух полевых опытах урожайность изученных трансгенных гибридов кукурузы, устойчивых к западному кукурузному жуку, составила в среднем 14.42 т/га (при диапазоне урожайности зерна 11.91-15.99 т/га). Мы будем исходить из указанного среднего уровня урожайности при дальнейшем обсуждении потребности растений в элементах питания.

При разработке рекомендаций по применению удобрений в высокопродуктивных агроценозах кукурузы важно учитывать следующие два важных показателя минерального питания растений: 1) количество элемента питания, которое поглощается надземной биомассой растений в течение вегетационного периода – поглощение надземной биомассой; 2) количество элемента питания, которое накапливается в зерне – вынос с урожаем зерна (**табл. 1**). Данные по выносу элементов питания с урожаем зерна (кг/т), полученные в нашем исследовании (**табл. 1**), сопоставимы с величинами, которые были использованы в недавней работе по определению возмещения выноса элементов питания из почвы за счет внесения удобрений (Bruulsema et al., 2012). В сравнении с системами земледелия, которые использовались в 1960-х годах (Hanway, 1962), то есть за последние 50 лет, практически удвоилось количество N, P и K, поглощаемое надземной биомассой растений, а также отчуждаемое с урожаем зерна.

¹ Удобрение состава 12-40-0-10S-1Zn (здесь и далее – примечания переводчика).

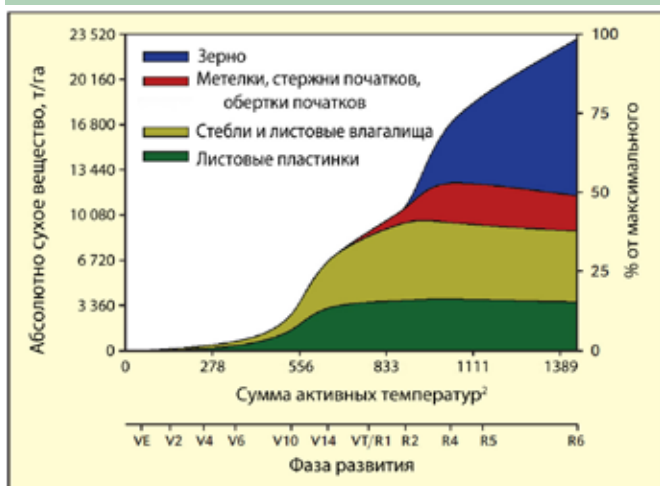


Рис. 1. Динамика накопления сухого вещества растениями кукурузы. Средние значения для 6-ти гибридов, возделываемых в двух полевых опытах в 2010 г. (Урбана и Де-Калб, штат Иллинойс).

Фазы развития кукурузы: VE – появление всходов; V1, V2 ... Vn – 1-ый, 2-ой ... n-ый лист (листовой язычок виден у 1-го, 2-го ... n-го листа); VT – выметывание метелки; R1 – выбрасывание нитей початка; R2 – водянистая спелость; R3 – молочная спелость; R4 – восковая спелость; R5 – появление углубления на верхушке зерновки; R6 – физиологическая спелость (появление «черной точки» на основании зерновки).

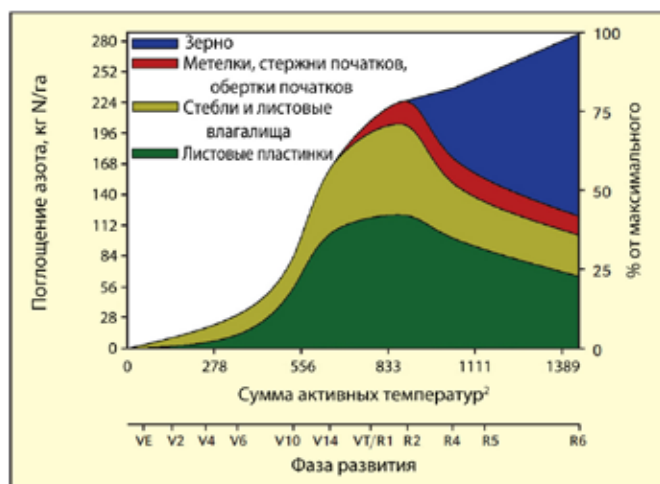


Рис. 2. Динамика потребления азота растениями кукурузы. Средние значения для 6-ти гибридов, возделываемых в двух полевых опытах в 2010 г. (Урбана и Де-Калб, штат Иллинойс).

Для каждого элемента питания был рассчитан относительный вынос с урожаем зерна – процентное соотношение между выносом с урожаем зерна и поглощением надземной биомассой растений. Элементы питания, потребляемые растениями в наибольших количествах (N, P и K), а также элементы, для которых характерны высокие значения относительного выноса с урожаем зерна (P, Zn, S и N), – это ключевые элементы питания растений, от которых зависит по-

² Сумма активных температур (>10°C) рассчитывается по следующей формуле: $(t_{\max} + t_{\min})/2 - 10$, где t_{\max} – максимальная температура за сутки (принимается равной 30°C, если она выше данной величины); t_{\min} – минимальная температура за сутки (принимается равной 10°C, если она ниже данной величины).



Рис. 3. Динамика потребления фосфора растениями кукурузы. Средние значения для 6-ти гибридов, возделываемых в двух полевых опытах в 2010 г. (Урбана и Де-Калб, штат Иллинойс).

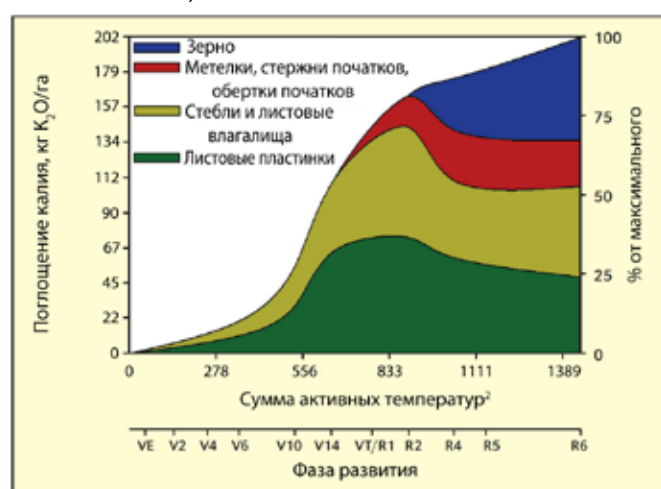


Рис. 4. Динамика потребления калия растениями кукурузы. Средние значения для 6-ти гибридов, возделываемых в двух полевых опытах в 2010 г. (Урбана и Де-Калб, штат Иллинойс).

лучение высокой урожайности (табл. 1). Почти 80% поглощенного растениями фосфора отчуждается с урожаем зерна. В то же время калий и бор в основном остаются в соломе. Если солома (листья, стебли, метелки, стержни и обертки початков) оставляется в поле, происходит частичный возврат элементов питания в почву. В системах возделывания кукурузы, где надземная биомасса частично или полностью удаляется с поля (получение этанола из целлюлозы, выращивание кукурузы на силос), дополнительно отчуждается 10.4 кг N, 2.0 кг P₂O₅, 11.7 кг K₂O, 1.0 кг S, 16 г Zn и 6 г B с 1 т абсолютно сухого вещества.

Максимальная скорость поглощения элементов питания растениями

Дальнейшее совершенствование технологий управления почвенным плодородием должно быть направлено на то, чтобы доступность элементов питания в почве соответствовала динамике их потребления растениями в течение вегетационного периода. Это подразумевает оптимизацию форм, доз и сроков внесения удобрений. Для всех элементов питания

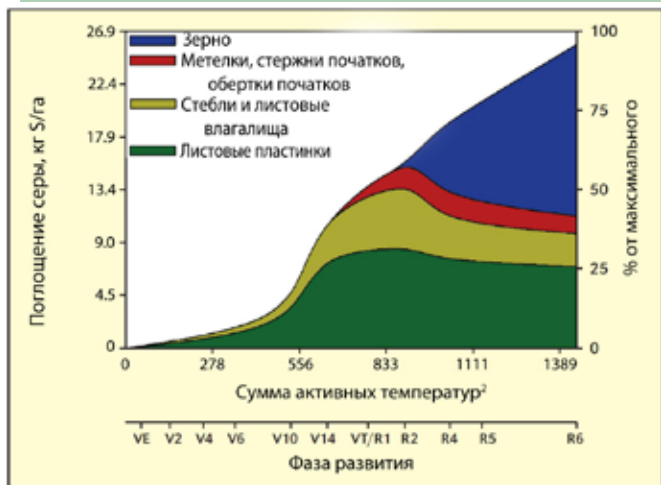


Рис. 5. Динамика потребления серы растениями кукурузы. Средние значения для 6-ти гибридов, возделываемых в двух полевых опытах в 2010 г. (Урбана и Де-Калб, штат Иллинойс).



Рис. 7. Динамика потребления бора растениями кукурузы. Средние значения для 6-ти гибридов, возделываемых в двух полевых опытах в 2010 г. (Урбана и Де-Калб, штат Иллинойс).



Рис. 6. Динамика потребления цинка растениями кукурузы. Средние значения для 6-ти гибридов, возделываемых в двух полевых опытах в 2010 г. (Урбана и Де-Калб, штат Иллинойс).

максимальная скорость поглощения растениями наблюдалась при наиболее интенсивном накоплении сухого вещества в период вегетативного роста (рис. 1-7). К фазам 10-14-ти листьев растениями было поглощено более 1/3 бора, в то время как относительное потребление других элементов питания находилось в диапазоне 20-30%. Между фазами 10-ти и 14-ти листьев суточное поглощение элементов питания кукурузой с 1 га составило: 8.7 кг N, 2.4 кг P₂O₅, 6.0 кг K₂O, 0.63 кг S, 15 г Zn и 4 г В. Поэтому для оптимизации питания растений и получения высокой урожайности наиболее предпочтительны такие формы удобрений, которые могут обеспечить поступление элементов питания с нужной скоростью в определенный период времени в соответствии с потребностью растений.

Периоды максимального потребления элементов питания растениями

Стрессовой ситуации, связанной с недостатком элементов питания у растений, можно избежать лишь в том случае, когда потребность растений в элементах питания удовлетворяется за счет их поступления из

почвы. Это особенно важно в условиях высокопродуктивных агроценозов. При разработке механизмов повышения доступности и оптимизации поступления элементов питания в растения, прослеживается много общего в поведении в экосистемах таких элементов питания, как азот и сера. Однако периоды максимального потребления азота и серы растениями, как оказалось, не совпадают (рис. 2 и 5). Это позволяет предположить, что для оптимизации питания растений азотом и серой должны использоваться разные подходы. Кривая поглощения азота, в отличие от кривой поглощения серы, имеет S-образный вид. К фазам выметывания метелки – выбрасывания нитей початка растения потребляют 2/3 азота. В отличие от азота, значительное накопление серы растениями происходит в фазы налива зерна. Более 50% серы поступает в растения после периода выметывания метелки – выбрасывания нитей початка (рис. 5). Аналогично поглощению азота, к фазам выметывания метелки – выбрасывания нитей початка растения потребляют 2/3 калия (рис. 4). Интересно отметить, что более 50% фосфора поступает в растения после периода выметывания метелки – выбрасывания нитей початка (рис. 3). Полученные кривые позволяют предположить, что поступление фосфора и серы в растения в течение всего периода вегетации имеет критическое значение для питания кукурузы. В то же время основная часть калия и азота потребляется растениями в период вегетативного роста.

В отличие от потребления N, P, K и S (S-образные кривые либо относительно постоянная скорость поглощения), процесс поглощения микроэлементов растениями характеризуется более сложными зависимостями. Кривые поглощения цинка и бора в начальный период вегетативного роста имеют S-образный вид, а к фазам выметывания метелки – выбрасывания нитей початка выходят на плато (рис. 6 и 7). Для цинка в дальнейшем характерна постоянная скорость поглощения, аналогично поступлению фосфора и серы в растения. В то же время на кривой поглощения бора выделяется второй S-образный участок, завершающийся в фазу образования углубления на верхушке зерновки. Цинк и бор интенсивно поглощаются рас-

тениями в течение более коротких периодов времени по сравнению с макроэлементами. Так, в течение лишь 1/3 вегетационного периода – в конце вегетативного роста и в репродуктивные фазы развития растениями потребляется 71% цинка (рис. 6). Временной интервал максимального поглощения бора также непродолжителен – 65% бора поступает в растения в течение 1/5 вегетационного периода (рис. 7). Удовлетворение потребности кукурузы в микроэлементах в условиях высокопродуктивных агроценозов требует применения соответствующих доз и форм микроудобрений, способных обеспечить растения микроэлементами в ключевые фазы роста.

Подвижность элементов питания в растениях

Для ряда элементов питания характерна высокая подвижность в растениях. Такие элементы питания могут сначала усваиваться в одних органах растений, а затем реутилизируются (ремобилизируются) – транспортируются и используются в других органах (Sayre, 1948; Hanway, 1962; Karlen et al., 1988). В зерне кукурузы к периоду созревания относительно больше накапливается N, P, S и Zn, о чем свидетельствуют высокие значения относительного выноса указанных элементов питания с урожаем зерна (табл. 1). Накопление данных элементов питания в зерне происходит за счет их ассимиляции в период налива зерна (после выметывания метелки – выбрасывания нитей початка), а также реутилизации из других частей растения. Например, более 50% фосфора потребляется растениями после периода выметывания метелки – выбрасывания нитей початка, и, кроме того, происходит значительная реутилизация фосфора в зерно из листьев и стеблей растений (рис. 3). Величины относительного выноса с урожаем зерна таких элементов питания, как азот и сера, достаточно близки, однако механизмы накопления в зерне данных элементов питания различаются. Накопление серы в зерне происходит главным образом за счет ее поглощения растениями после цветения (рис. 5). Азот же, наоборот, накапливается в зерне в основном за счет реутилизации (рис. 2). Получены уникальные данные по подвижности цинка в растениях. Показано, что стебель кукурузы временно служил основным источником цинка в растении. К фазе физиологической спелости примерно 60% цинка, содержащегося в стеблях, предположительно, было реутилизировано зерном. Содержание бора в листьях снижалось в период выметывания метелки – выбрасывания нитей початка, что свидетельствует о важной роли бора в репродуктивном развитии растений (рис. 7). Аналогичные результаты были получены Карленом с соавт. (Karlen et al., 1988).

Оптимизация систем применения удобрений

Управление питанием растений – комплексный процесс. Совершенствование наших представлений о временных интервалах поглощения элементов питания кукурузой, потребляемых количествах, рас-

пределении по органам растений и реутилизации позволяет оптимизировать дозы, формы и сроки внесения удобрений. В отличие от других элементов питания, накопление P, S и Zn растениями протекает сильнее в период налива зерна, чем в период вегетативного роста. Следовательно, поступление указанных элементов питания из почвы в течение всего периода вегетации имеет критическое значение для сбалансированного питания кукурузы. Микроэлементы – цинк и бор характеризуются более короткими интервалами максимального поглощения растениями по сравнению с макроэлементами. На первом месте по относительному выносу с урожаем зерна находится фосфор. Фермерами штата Иллинойс в севообороте кукуруза – соя обычно практикуется внесение фосфорных удобрений под кукурузу с учетом их последствий на сое. Фермеры вносят под кукурузу в среднем 104 кг P_2O_5 /га (Fertilizer and Chemical Usage, 2011), и 80% посевов сои используют последствия фосфорных удобрений, остающихся в почве в количестве 14.6 кг P_2O_5 /га исходя из выноса фосфора с урожаем зерна кукурузы (Fertilizer, Chemical Usage, and Biotechnology Varieties, 2010). Эти расчеты свидетельствуют о существующей угрозе потери почвенного плодородия, если с ростом продуктивности агроценозов не будут соответствующим образом скорректированы дозы фосфорных удобрений. Данная информация по питанию растений очень важна для понимания требований, предъявляемых в настоящее время к системам применения удобрений.

Заключение

Достижения в области агрономии, селекции и биотехнологии в течение последних 50-ти лет позволили выйти на новый уровень урожайности. Однако при достигнутом высоком уровне урожайности происходит значительное снижение обеспеченности почв макро- и микроэлементами. Последнее обследование плодородия почв Северной Америки, результаты которого были обобщены Международным институтом питания растений, свидетельствует о том, что за последние 5 лет в США и Канаде выросла доля почв с содержанием подвижных форм P, K, S и Zn, близким к критическим уровням и ниже данных уровней (Fixen et al., 2010). Снижение почвенного плодородия при возделывании высокоурожайных гибридов предполагает, что потребности растений в элементах питания не удовлетворяются за счет применения удобрений, и что дозы удобрений не компенсируют вынос элементов питания с урожаем, то есть недостаточны для поддержания почвенного плодородия. Обобщение результатов последних исследований по динамике потребления элементов питания основными сельскохозяйственными культурами, включая кукурузу, будет способствовать достижению фундаментальной цели – обеспечению потребности растений в элементах питания за счет оптимизации форм, доз, сроков и способов внесения удобрений.

Авторы выражают благодарность Компании «Мозаик» (The Mosaic Company) за финансовую поддержку исследований. Данная статья – это сокращенная версия научной работы, опубликованной в выпуске *Агрономического Журнала (Agronomy Journal)* за январь-февраль 2013 г.

Г-н Бендер – научный ассистент, Университет штата Иллинойс в Урбане-Шампэйн, г. Урбана, штат Иллинойс, США; e-mail: bender14@illinois.edu. Д-р Хаегеле – научный сотрудник, Университет штата Иллинойс в Урбане-Шампэйн, г. Урбана, штат Иллинойс, США; e-mail: haegele1@illinois.edu.

Д-р Руффо – менеджер по агрономии, Компания «Мозаик» (The Mosaic Company), г. Буэнос-Айрес, Аргентина; e-mail: matias.ruffo@mosaicco.com.

Д-р Белоу – профессор по растениеводству, Университет штата Иллинойс в Урбане-Шампэйн, г. Урбана, штат Иллинойс, США; e-mail: fbelow@illinois.edu.

Литература

- Bruulsema, T.W., P.E. Fixen, and G.D. Sulewski. 2012. *4R Plant Nutrition Manual: A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition, North American Version. International Plant Nutrition Institute, Norcross, GA, USA.*
- Fertilizer and Chemical Usage. 2011. *National Agriculture Statistics Service, United States Department of Agriculture. Illinois Farm Report. 32:8.*
- Fertilizer, Chemical Usage, and Biotechnology Varieties. 2010. *Bulletin As11091, Illinois Agricultural Statistics, National Agriculture Statistics Service, United States Department of Agriculture.*
- Fixen, P.E., T.W. Bruulsema, T.L. Jensen, R.L. Mikkelsen, T.S. Murrell, S.B. Phillips, Q. Rund, and W.M. Stewart. 2010. *Better Crops 94(4):6-8.*
- Hanway, J.J. 1962. *Agron. J. 54:217-222.*
- Hanway, J.J. 1963. *Agron. J. 55:487-492.*
- Karlen, D.L. R.L. Flannery, and E.J. Sadler. 1988. *Agron. J. 80:232-242.*
- Sayre, J.D. 1948. *Physiol. Plant 23:267-281.*

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

Эффективность применения калийных удобрений в Поволжье

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

Как известно, картофель и сахарная свекла относятся к наиболее калиелюбивым культурам. Например, прибавка урожайности клубней картофеля на черноземе выщелоченном в Республике Башкортостан при средней обеспеченности подвижным

калием достигала 54% за счет внесения 200 кг K_2O /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 K_2O /га достигала 26%, а сахаристость возрастала на 1.1% (Тюрникова, 2001). Лен – это тоже калиелюбивая культура, хорошо отзывается на применение калийных удобрений. Так, в вышеуказанном регионе прибавка урожайности льносоломки на светло-серой лесной почве с высокой обеспеченностью подвижным калием достигала 26% при внесении 120 кг K_2O /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 включили 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 доступными для растений формами калия. 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 дру-

гими 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 прово-

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 | | | $N_{60}P_{120}$ | 1.73 | - | |
| | | | + K_{60} | 2.11 | 22 | |
| | | | + K_{120} | 2.28 | 32 | |
| Овес (с подсев. клевера) | Супесь | Низкая – средняя** | $N_{60}P_{120}$ | 2.56 | - | Беляев, 2005 |
| | | | + K_{60} | 2.95 | 15 | |
| | | | + K_{120} | 3.24 | 27 | |
| Яровая пшеница | | | $N_{60}P_{60}$ | 1.61 | - | |
| | | | + K_{60} | 1.82 | 13 | |
| Ячмень | Супесь | Средняя – повышенная | $N_{60}P_{90}$ | 2.41 | - | Алметов и др., 2012 |
| | Легкий суглинок | | + K_{60} | 2.81 | 17 | |
| | | | $N_{60}P_{90}$ | 3.39 | - | |
| | Средний суглинок | Средняя | + K_{60} | 3.62 | 7 | |
| | | | $N_{60}P_{90}$ | 2.62 | - | |
| Ячмень | Средний суглинок | Повышенная – высокая | + K_{90} | 3.19 | 22 | |
| | | | $N_{60}P_{60}$ | 3.28 | - | |
| | | | + K_{180} | 3.60 | 10 | Пасынков, 2002 |
| | | | $N_{47}P_{46}^*$ | 3.90 | - | |
| Озимая рожь | | | + K_{46}^* | 4.19 | 7 | |
| | | | $N_{47}P_{46}^*$ | 35.8 | - | |
| Кукуруза (зеленая масса) | | | + K_{46}^* | 36.9 | 3 | |
| | | | $N_{47}P_{46}^*$ | 1.78 | - | |
| Яровая пшеница | Средний суглинок | Средняя | + K_{46}^* | 2.01 | 13 | Башков и Дзюин, 2006 |
| | | | $N_{47}P_{46}^*$ | 5.67 | - | |
| Клевер 1 г.п. (сено) | | | + K_{46}^* | 5.80 | 2 | |
| | | | $N_{47}P_{46}^*$ | 6.61 | - | |
| Клевер 2 г.п. (сено) | | | + K_{46}^* | 6.70 | 1 | |
| | | | $N_{47}P_{46}^*$ | 3.69 | - | |
| Ячмень | | | + K_{46}^* | 4.27 | 16 | |
| | | | $N_{30}P_{30}$ | 59.6 | - | |
| Клевер 1 г.п. (зеленая масса) | Средний суглинок | Высокая | + K_{30} | 63.6 | 7 | Башков и Мясников, 2005 |
| | | | $N_{60}P_{60}$ | 3.09 | - | |
| Ячмень | | | + K_{90} | 3.23 | 5 | |
| | | | $N_{60}P_{60}$ | 2.08 | - | |
| Яровая пшеница | Тяжелый суглинок | Средняя – повышенная | + K_{90} | 2.05 | -1 | Алешин, 2011 |
| | | | $N_{60}P_{60}$ | 3.51 | - | |
| Овес | | | + K_{90} | 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 K_2O /кг почвы.

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 | |
| | | | $N_{50}P_{50}^*$ $+K_{50}^*$ | 2.89 | - | |
| Ячмень | Светло-серая лесная | Повышенная | $+K_{50}^*$ | 3.27 | 13 | Титова и др., 2005 |
| Клевер (сено) | | | $N_{50}P_{50}^*$ $+K_{50}^*$ | 3.34 | - | |
| 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 Четечкина, 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 извести и с известью).

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

дились 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). Повидимому, 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 результа-

ты 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 почве, наблюдалась при внесении под предшественник (лен) 120 кг K_2O /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 Четечкина, 2010). Средняя за годы исследований прибавка урожайности от внесения двойной

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 | $N_{150}P_{25}$ | 2.40 | - | IPNI-Башкирский ГАУ, 2011 (неопубл. данные) |
| | | | + K_{28} | 3.49 | 45 | |
| Яровая пшеница | Чернозем выщелоченный | - | $N_{60}P_{60}$ | 1.67 | - | Гарифуллин и др., 2003 |
| | | | + K_{60} | 1.84 | 10 | |
| Яровая пшеница | Чернозем выщелоченный | Очень высокая | $N_{90}P_{90}^*$ | 2.23 | - | Тюрникова, 2001; Тюрникова и др., 2011 |
| | | | + K_{120}^* | 2.49 | 12 | |
| | | | + K_{180}^* | 2.70 | 21 | |
| Гречиха | Чернозем выщелоченный | - | $N_{45}P_{45}$ | 1.65 | - | Нарушева и Юрченко, 2006 |
| | | | + K_{30} | 1.59 | -4 | |
| Озимая пшеница | Чернозем типичный | Высокая | $N_{60}P_{60}$ | 3.24 | - | Несмеянова и др., 2008 |
| | | | + K_{30} | 3.37 | 4 | |
| Ячмень | | | + K_{60} | 3.46 | 7 | |
| | | | $N_{60}P_{60}$ | 2.41 | - | |
| | | | + K_{30} | 2.57 | 7 | |
| Озимая пшеница | | | $N_{70}P_{70}^{**}$ | 3.99 | - | |
| | | | + K_{35}^{**} | 4.11 | 3 | |
| Яровая пшеница | Чернозем обыкновенный | Высокая*** | $N_{70}P_{70}^{**}$ | 2.14 | - | Чичкин, 2003 |
| | | | + K_{35}^{**} | 2.21 | 3 | |
| Кукуруза (зерно) | | | $N_{70}P_{70}^{**}$ | 3.84 | - | |
| | | | + K_{35}^{**} | 3.87 | 1 | |
| Ячмень | | | $N_{70}P_{70}^{**}$ | 2.70 | - | |
| | | | + K_{35}^{**} | 2.91 | 8 | |

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

** Приведены средние дозы на 1 га севооборотной площади.

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

дозы калия (40 кг K_2O /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 чернознам обыкновенным (табл. 3). Очень высокая прибавка урожайности яровой пшеницы от калия (45%) была получена в однолетнем 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 пшени-

цы калием наблюдается при внесении 180 кг K_2O /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 (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 ячме-

не 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 растений, 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.

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. Коняевские 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., Акбаров 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., Калашник Г.И. и Санин А.А. 2010. Влияние длительного систематического внесения удобрений на урожайность и качество зерна ячменя. В кн.: Состояние и перспективы 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.

Обзор научных публикаций

BETTER CROPS

with plant food, №2 2013



Ежеквартальный журнал
Международного института питания растений
(онлайн в свободном доступе <http://www.ipni.net/bettercrops>)

Управление калийным питанием растений исходя из концепции «4-х правил» применения удобрений (4R): Выращивание томатов для переработки в провинции Синьцзян

Ш. Ли и Я. Цзянг

Производство томатов для промышленной переработки в северо-западной провинции Китая Синьцзян часто лимитируется недостаточным питанием растений калием. В данной статье описываются технологии использования калийных удобрений, соответствующие концепции «4-х правил» применения удобрений (4R). Показано, что использование данных технологий повышает урожайность и качество плодов томата.

Сера в почвах и серосодержащие удобрения

Р. Миккельсен и Р. Нортон

Для роста растений очень важно постоянное поступление серы в растения. Органическое вещество – основной источник серы в почве. Сера, входящая в состав органических соединений, сначала должна быть окислена до сульфат-иона, и после этого становится доступной растениям. Основная часть серосодержащих удобрений (элементарная сера) получается в процессе очистки разных видов ископаемого топлива. Существует большое количество хороших водорастворимых и медленнорастворимых серосодержащих удобрений, способных удовлетворять потребности растений в сере при оптимальных дозах, сроках и способах внесения.

Питание растений серой

Р. Нортон, Р. Миккельсен и Т. Дженсен

Сера – важный элемент питания растений, однако ее содержание в растениях ниже по сравнению с другими макроэлементами. Растения усваивают серу в виде сульфат-иона. В дальнейшем сера восстанавливается и входит в состав незаменимых аминокислот. Сера участвует в ряде важных метаболических процессов, включая синтез белка. Во многих регионах мира следует уделять большее внимание сбалан-

сированному питанию сельскохозяйственных культур серой.

Система применения удобрений в Бразилии, обеспечивающая получение высоких урожаев хлопчатника

Э. Франциско и Х. Хоогерхейде

Представлено краткое руководство по интерпретации результатов почвенных анализов, и даны рекомендации по применению минеральных удобрений в уникальном хлопкопроизводящем регионе Бразилии, расположенном в природной зоне Серрадо.

Управление азотным питанием кукурузы при высокой густоте стояния растений в широкорядных и узкорядных посевах

К.Р. Крозиер, Р.Дж. Гехль, Д.Х. Харди и Р.В. Хейнигер

Полевые опыты по установлению оптимальной ширины междурядий при выращивании кукурузы, проведенные в течение 3-х лет в штате Северная Каролина (США), показали, что урожайность зерна достоверно повышается при узкорядном способе посева и проведении азотных подкормок по сравнению с другими изученными комбинациями между шириной междурядий и сроками внесения азотных удобрений. Прибавка урожайности зерна в результате применения азотных удобрений достигала 19% за счет улучшения показателей структуры урожая: число зерен в ряду повышалось на 17%, вес зерновки – на 8%, число рядов зерен в початке – на 3%.

Эффективность применения калийных удобрений в Западной Сибири

В.Н. Якименко и В.В. Носов

Краткий обзор полевых опытов по изучению эффективности применения калийных удобрений на почвах Западной Сибири свидетельствует о том, что прибавка урожайности зерновых культур от калия может достигать 20-30%. Полевой опыт, проведенный в зернокармном севообороте, выявил тенденцию к увеличению урожайности 1-ой яровой пшеницы и ярового ячменя при применении калийных

удобрений. Достоверная прибавка урожайности от калия была получена на 2-ой пшенице, а также на овсяно-гороховой смеси и кукурузе на силос. В овоще-картофельном севообороте статистически значимое увеличение урожайности картофеля и моркови наблюдалось уже при внесении минимальных доз калия.

«Делянки Магрюдера»: 120 лет исследований в бесменных посевах озимой пшеницы

Б. Арналл

По результатам данного полевого опыта с органическими и минеральными удобрениями уже на протяжении ряда десятилетий публикуются статьи в журналах, а также аналитические и другие материалы. Опыт проводится в однократной повторности и включает 6 простых вариантов.

Устойчивая интенсификация возделывания масличной пальмы: Перспективные научные исследования и разработки по применению удобрений

Т. Обертюр, К.Р. Доноуг, Дж. Кок, Рахмадсыях, Г. Абдуррохим, К. Индрасуара, А. Любис и Т. Долонг

Программой Международного института питания растений по Юго-Восточной Азии (IPNI SEAP) разработан алгоритм сокращения разрыва между потенциальной и фактической урожайностью масличной пальмы, основанный на использовании рациональных технологий возделывания. Данный алгоритм позволяет подобрать наиболее подходящие агротехнологии для конкретных почвенно-климатических условий, определить достижимую

урожайность при использовании рациональных технологий возделывания на выбранных производственных участках, а также оценить выгоды, связанные с совершенствованием агротехнологий. Рациональные технологии возделывания, способствующие интенсификации выращивания масличной пальмы на небольших производственных участках, в дальнейшем можно распространять на большие площади. Использование указанного подхода позволяет принимать оправданные инвестиционные решения.

Оптимизация производства масличных и бобовых культур в неорошаемых условиях штата Джаркханд: Система применения серосодержащих удобрений

С. Сингх и А.К. Саркар

В Индии увеличивается доля почв с недостаточной обеспеченностью подвижной серой в результате неиспользования серосодержащих удобрений, а также расширения посевных площадей под масличными и бобовыми культурами, имеющими высокую потребность в сере. Полевые опыты на фермерских полях, проведенные в неорошаемых условиях штата Джаркханд на почвах возвышенностей, показали, что внесение серы в почву позволяет повысить урожайность и улучшить качество продукции вышеуказанных культур. Существенное прямое действие и последствие серосодержащих удобрений наблюдалось в севооборотах горчица – фасоль мунго и арахис – горчица. Применение серы способствовало повышению урожайности таких культур, как нут (гвизоция), горчица, арахис, фасоль мунго, чечевица и соя. Однако существующие рекомендации по применению удобрений под данные культуры не включают серу.