

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 Урбане 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).

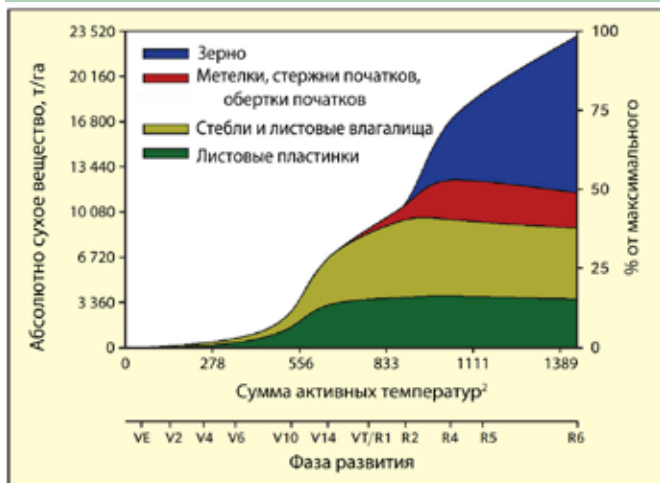


Рис. 1. Динамика накопления сухого вещества растениями кукурузы. Средние значения для 6-ти гибридов, возделываемых в двух полевых опытах в 2010 г. (Урбана и Де-Калб, штат Иллинойс).

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).

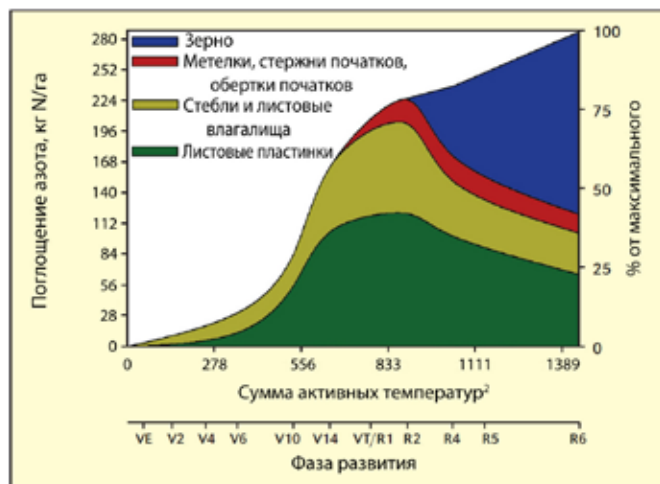


Рис. 2. Динамика потребления азота растениями кукурузы. Средние значения для 6-ти гибридов, возделываемых в двух полевых опытах в 2010 г. (Урбана и Де-Калб, штат Иллинойс).

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).

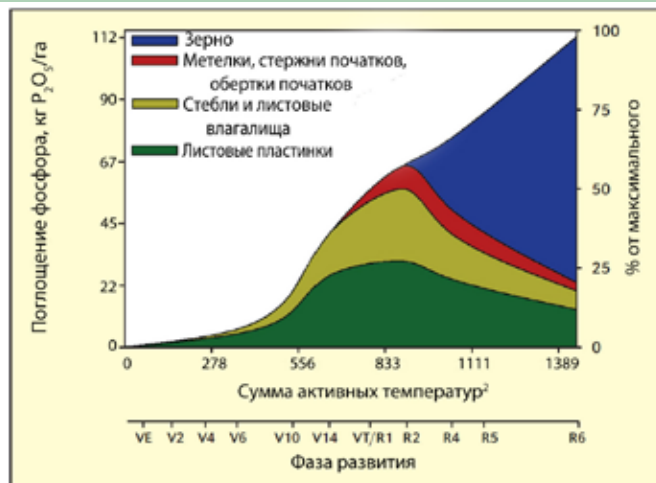


Рис. 3. Динамика потребления фосфора растениями кукурузы. Средние значения для 6-ти гибридов, возделываемых в двух полевых опытах в 2010 г. (Урбана и Де-Калб, штат Иллинойс).

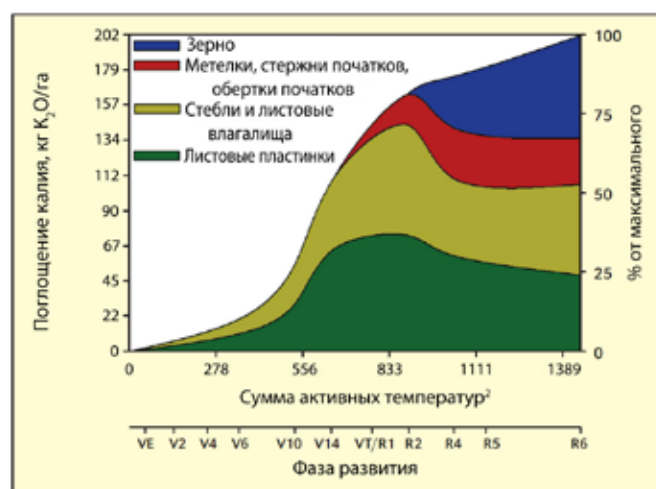


Рис. 4. Динамика потребления калия растениями кукурузы. Средние значения для 6-ти гибридов, возделываемых в двух полевых опытах в 2010 г. (Урбана и Де-Калб, штат Иллинойс).

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 В 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.

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. Цзян

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

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.



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 сбалансированному питанию сельскохозяйственных культур серой.

Система применения удобрений в Бра-