

СОДЕРЖАНИЕ

Способность черноземов к поглощению калия после однократного внесения калийных удобрений в разных дозах.....2

Продуктивность люцерны второго года жизни при оптимизации минерального питания растений на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья.....5

Изменение окраски растений при недостатке фосфора.....8

Эффективность использования жидких комплексных удобрений, содержащих полифосфаты аммония.....11

Победители конкурса фотографий «Признаки недостатка элементов питания у сельскохозяйственных культур» 2015 г.....16

Обзор научных публикаций Better Crops with Plant Food.....19

Итоги конкурса научных работ студентов и аспирантов-2015.....20

Международный Институт Питания Растений

Иванова С.Е., вице-президент программы по Восточной Европе и Центральной Азии
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. Ландышевая, д. 12, пом. 17а
тел./факс: +7 (495) 580 64 14

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

e-mail: ipni-eeca@ipni.net

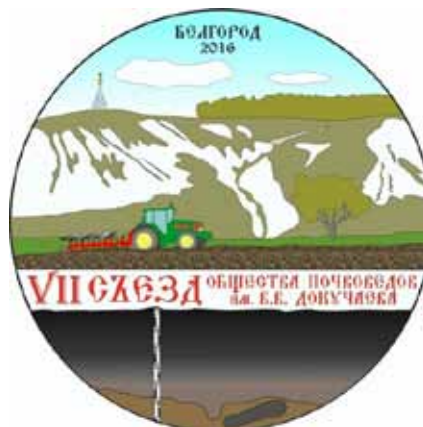
Перепечатка и любое воспроизведение материалов, опубликованных в Вестнике, возможны только с письменного разрешения Международного института питания растений
© Международный институт питания растений 2016

Уважаемые читатели приглашаем Вас принять участие в симпозиуме «ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ», организованном Филиалом Международного института питания растений в РФ в рамках VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева.

ПРОГРАММА СИМПОЗИУМА

- 1) Фернандо Гарсия. Изучение эффективности калийных удобрений на юге Латинской Америки.
- 2) Иванова С., Романенков В., Никитина Л. Эффективность калийных удобрений при интенсивных технологиях возделывания с/х культур в ЦФО.
- 3) Романенков В., Никитина Л., Иванова С. Современная оценка обеспеченности почв калием в ЦФО.
- 4) Соколова Т., Иванова С., Осипова Д. Влияние однократного внесения различных доз калийных удобрений на калийное состояние и минералогический состав илистой фракции обыкновенных черноземов и некоторые методические вопросы определения подвижных соединений калия.
- 5) Носов В., Бирюкова О., Божков Д. Отзывчивость кукурузы на калийные удобрения в южной зоне Ростовской области.
- 6) Якименко В., Нечаева Т. Действие и последствие калийных удобрений в Западной Сибири.
- 7) Христенко А., Иванова С. Проблемы оптимизации калийного питания сельскохозяйственных культур в земледелии Украины.

Дата проведения симпозиума: 18 августа 2016 года, начало в 9:00. Место проведения - НИУ «БелГУ», 15 корпус. Адрес НИУ «БелГУ»: г. Белгород, ул. Победы, 85.



Способность черноземов к поглощению калия после однократного внесения калийных удобрений в разных дозах

Осипова Д.Н., Иванова С.Е. и Соколова Т.А.

Представлены результаты модельного лабораторного опыта, в котором образцы черноземов с делянок полевого опыта с однократным внесением калийных удобрений в дозах 0, 70, 140 и 280 кг/га инкубировали в течение месяца с KCl в количестве 20 г/100г почвы. До и после инкубирования определяли содержание K в вытяжке Пчелкина. Установлено, что однократное внесение даже высоких доз калийных удобрений в исследованные черноземы не привело к достоверному снижению способности почвы к поглощению подвижного калия, извлекаемого 2М HCl вытяжкой.

Введение

Черноземы считаются почвами с повышенным содержанием доступного калия (Минеев, 2005). Несмотря на это, анализ современных массовых данных по калию в почвах ЦЧО показывает, что для оптимизации режима калийного питания сельскохозяйственных культур на чернозёмах необходимо увеличить поступление калия в агроландшафты с данными типами почв (Чекмарев и др., 2011). Показано, что внесение калийных удобрений на черноземах Воронежской области обеспечивает рост урожая и содержание сахара в сахарной свекле (Иванова и др., 2014).

Хорошо известно, что вносимые калийные удобрения могут в той или иной мере фиксироваться, т.е. необменно поглощаться глинистыми минералами при достаточной активности ионов K^+ в жидкой фазе и при наличии в составе глинистых минералов высокозарядных лабильных силикатов. Этот процесс может приводить к уменьшению доступности внесенного калия и к образованию в составе тонких фракций иллитоподобных структур.

В предыдущей работе, выполненной в рамках проекта Российского филиала Международного Института питания растений «Совершенствование рекомендаций по внесению калийных удобрений

и корректировка существующих градаций по обеспеченности почвы калием при интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур», были получены следующие результаты (Осипова и др., 2016).

В результате однократного внесения калийных удобрений в дозах 0, 70, 140 и 280 кг/га в условиях полевого опыта на обыкновенных черноземах в почвах закономерно возрастало содержание обменного K и по Масловой, и по Мачигину, и снижался калийный потенциал. Однократное внесение калийных удобрений не вызвало достоверного изменения содержания иллитов в составе иллитовой фракции.

В настоящей работе изложены результаты модельного лабораторного опыта, проведенного на тех же образцах черноземов из полевого опыта, с целью оценки способности черноземов к дополнительному поглощению калия после однократного внесения в полевом опыте калийных удобрений в различных дозах.

Объекты и методы исследования

Исследуемые образцы черноземов обыкновенных были отобраны с четырех делянок полевого опыта, заложенного в Аннинском районе Воронежской области, с внесением различных доз минеральных удобрений. Варианты опыта: 1 – фон N58P104, вариант 2 – NP + 70 кг/га K_2O , вариант 3 – NP + 140 кг/га K_2O , вариант 4 – NP + 280 кг/га K_2O . Каждый вариант опыта осуществлялся в трехкратной повторности. Удобрения вносили осенью 2012 года, в течение вегетационного сезона 2013 года делянки были заняты под сахарную свеклу. Почвенные образцы отбирали осенью 2013 года после уборки урожая.

Способность почв к поглощению калия оценивалась по несколько измененной методике, предложенной В.Н.Якименко (2011). Образцы почв массой 100 г в течение месяца инкубировали с 20 мг KCl при переменном увлажнении до НВ и высушивании. В.Н.Якименко показал, что в образцах серых лесных почв, отобранных с делянок длительного полевого опыта, количество K, переходящее в HNO_3 -вытяжку, закономерно снижается при увеличении дозы вносимых в полевом опыте калийных удобрений. В отличие от методики В.Н.Якименко, содержание подвижного K до и после инкубирования

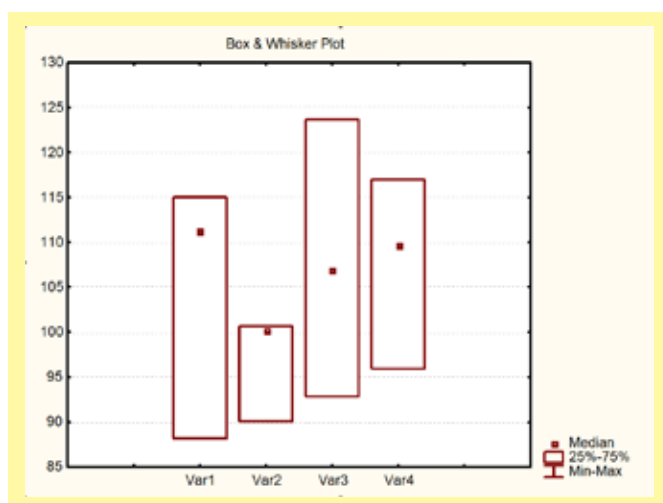


Рис. 1. Содержание K вытяжке Пчелкина в мг/100г почвы в вариантах до инкубирования. Var1, Var2, Var3, Var4 – варианты полевого опыта 0, 70, 140 и 280 кг K_2O /га соответственно

Таблица 1. Содержание К в вытяжке Пчелкина до и после инкубирования с KCl (мг K₂O/100 г почвы).

| Вариант опыта | Калий до инкубирования по повторностям | Среднее | Калий после инкубирования по повторностям | Среднее | Разница средних |
|--------------------------|--|---------|---|---------|-----------------|
| 1. NP | 111.5 | 104.91 | 113.49 | 111.54 | 6.63 |
| | 88.14 | | 105.30 | | |
| | 115.05 | | 115.83 | | |
| 2. NP + K ₇₀ | 100.23 | 97.11 | 111.93 | 106.47 | 9.36 |
| | 90.09 | | 103.74 | | |
| | 100.62 | | 103.74 | | |
| 3. NP + K ₁₄₀ | 123.63 | 107.64 | 124.41 | 113.88 | 6.24 |
| | 92.82 | | 108.42 | | |
| | 106.86 | | 108.81 | | |
| 4. NP + K ₂₈₀ | 117.0 | 107.25 | 118.17 | 112.71 | 5.46 |
| | | | 106.47 | | |
| | | | 113.10 | | |

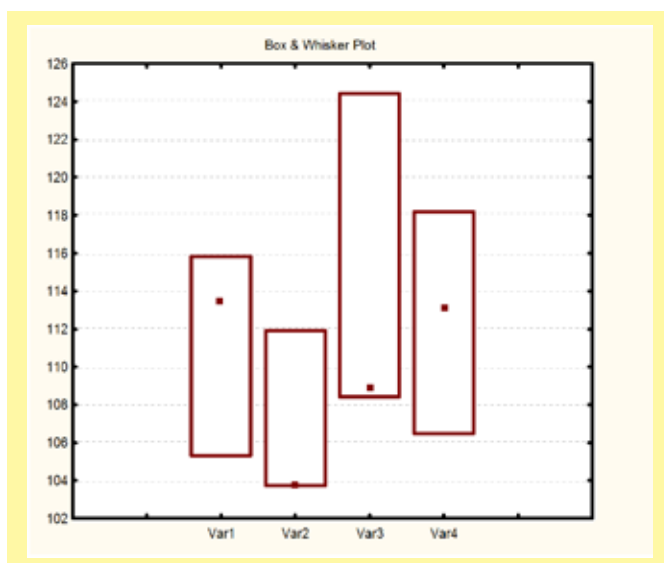


Рис. 2. Содержание К в вытяжке Пчелкина, мг K₂O/100г почвы, в образцах после инкубирования. Var1, Var2, Var3, Var4 – варианты полевого опыта 0, 70, 140 и 280 кг KCl соответственно

ния в образцах определяли не в HNO₃ с кипячением, а по Пчелкину. Последний метод включает настаивание образца почвы с 2М HCl в течение двух суток при комнатной температуре. Известно, что этот метод разработан и используется для определения соединений калия, который рассматривается как необменный (Методические подходы ..., 2011).

Несомненно, что при такой обработке в вытяжку может переходить и обменный калий, но оценивать содержание собственно необменного калия по разности между количеством калия в вытяжке Пчелкина и в вытяжке Масловой без дополнительных исследований было бы не совсем корректно. Известно, что ион NH₄⁺ является значительно более активным вытеснителем, чем протон, в отношении катионов, находящихся в межпакетных позициях трехслойных силикатов. Поэтому в почвах может присутствовать обменный калий, не вытесняемый при кислотной обработке, но переходящий в вытяжку Масловой (Козлова и др., 2003). Вместе с тем, в кислотную вытяжку Пчелкина частично переходит калий кристаллических решеток иллитов, как унаследованных от породы, так и образованных в результате фиксации

калия. В связи с этим в рамках данной работы не используется термин «необменный калий», а применяются как синонимы термины «калий в вытяжке Пчелкина» и «калий в 2М HCl вытяжке».

Полученные результаты обрабатывали с применением программ EXCEL и STATISTICA (Мешалкина и Самсонова, 2008).

Результаты и обсуждение

В исходных образцах содержание К в вытяжке 2М HCl варьирует от 88 до 123 мг K₂O/100г почвы и достоверно не различается по вариантам полевого опыта с разными дозами удобрений (рис. 1, табл. 1). Если исключить данные по контрольному варианту опыта, можно заметить тенденцию к увеличению содержания К в 2М HCl вытяжке по мере возрастания дозы калийных удобрений от 70 до 140 и 280 кг/га.

После инкубирования 100 г почвы с 20 мг KCl содержание калия несколько увеличивалось во всех вариантах опыта и варьировало в пределах от 103 до 124 мг/100 г. Так же, как и до инкубирования, между различными вариантами полевого опыта достоверных различий не выявлено (рис. 2), но при исключении данных контрольного варианта опыта, отмечается тенденция к увеличению количества калия в 2М HCl вытяжке по мере увеличения дозы удобрений.

Прибавка содержания К после инкубирования по вариантам опыта и повторностям варьировала от 0.8 до 17.2 мг K₂O/100 г, причем не было найдено достоверных различий между вариантами опыта по количеству калия, которое было поглощено почвой в процессе инкубирования с KCl (рис. 3).

При этом количество поглощенного при инкубировании калия обнаруживает обратную линейную зависимость от количества калия, которое переходит в вытяжку Пчелкина до инкубирования (рис. 4). Соответствующий коэффициент парной корреляции был равен 0.9 и значим при P = 0.99. При исключении данных по контрольному варианту опыта наблюдается тенденция к снижению средних по варианту количеств поглощенного калия по мере увеличения доз вносимых калийных удобрений (табл. 1).

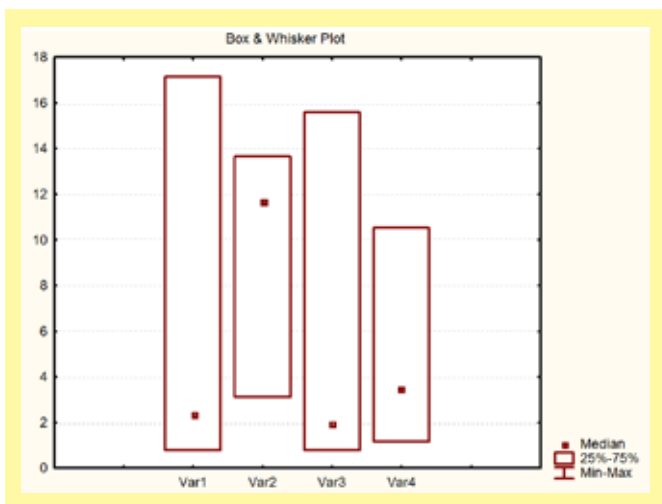


Рис. 3. Количество калия, поглощенного при инкубировании (разница между количеством К в 2 М HCl до и после инкубирования). Var1, Var2, Var3, Var4 – варианты полевого опыта 0, 70, 140 и 280 кг KCl соответственно.

Таким образом, однократное внесение даже высоких доз калийных удобрений в исследованные черноземы не привело к достоверному снижению способности почвы к поглощению подвижного калия, извлекаемого 2М HCl вытяжкой. Этот вывод находится в соответствии с ранее полученными данными (Осипова, 2016) об отсутствии накопления иллитов в составе илистой фракции даже на делянках, получивших максимальную дозу калийных удобрений (280 кг/га).

Возникает вопрос, почему в исследованных черноземах отсутствует отмечаемое многими исследователями (Куйбышева, 1985; Минеев, 2004; Якименко, 2011; Moberg et al., 1983; Simonsson et al., 2009 и др.) снижение фиксации калия и соответствующее накопление иллитов в тонких фракциях по мере увеличения доз калийных удобрений.

Можно указать две основные причины, определяющие эту особенность исследованных почв. Первая причина заключается в том, что данные в цитированных работах относятся к образцам, взятым с делянок длительных полевых опытов, в то время как объектом данного исследования были образцы почв после однократного внесения калийных удобрений. Вторая причина связана с тем, что большая часть опубликованных работ относится к подзолистым и серым лесным почвам, а не к черноземам.

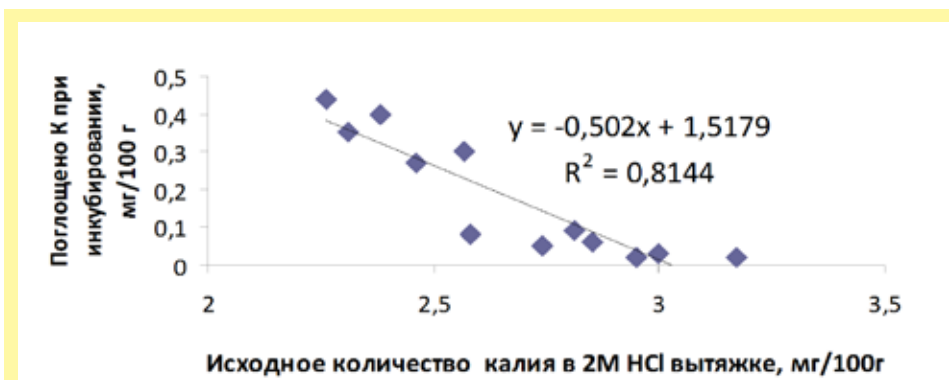


Рис. 4. Зависимость количества поглощенного при инкубировании калия от исходного содержания калия, переходящего в 2 М HCl вытяжку

Спецификой черноземов является не только более высокое природное содержание подвижного калия, но и наличие большего количества гумусовых пленок на поверхности частиц и структурных отдельностей. Эти пленки могут препятствовать процессу обменного и необменного поглощения калия.

Оценивая полученные результаты с практической точки зрения, следует отметить, что слабое проявление способности почвы к поглощению калия вне зависимости от дозы внесения калийных удобрений обеспечивает возможность более полного использования калия сельскохозяйственными культурами.

Осипова Д.Н. – магистрант кафедры химии почв факультета почвоведения Московского Государственного Университета имени М.В.Ломоносова; e-mail: dariyaosipova@gmail.com.

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.

Соколова Т.А. – профессор, доктор биологических наук, заслуженный профессор Московского Государственного Университета имени М.В.Ломоносова

Литература

- Минеев В.Г. *Агрохимия*. 2004. М.: Изд-во Московского университета. 720 с.
- Чекмарев П.А., Лукин С.В., Сискевич Ю.И., Юмашев Н.П., Корчагин В.И., Хижняков А.Н. 2011. *Питание растений*, 3: 2-6.
- Иванова С.Е., Романенков В.А., Никитина Л.В. 2014. *Питание растений*, 1: 2-5.
- Осипова Д.Н., Иванова С.Е., Соколова Т.А. 2016. *Вестник МГУ. Сер.17. Почвоведение*, 4.
- Якименко В.Н. 2011. *Вестник Томского государственного университета. Биология*, 1. (13): 19-27.
- Методические подходы к определению параметров калийного режима пахотных почв при длительных опытах*. 2011. М.: Изд-во РАСХН. 47 с.
- Козлова О.Н., Соколова Т.А., Носов В.В., Балдина В.В. 2003. *Агрохимия*, 10: 13-21.

Мешалкина Ю.Л., Самсонова В.П. *Математическая статистика в почвоведении. Практикум*. 2008. Москва. 84 с.

Куйбышева И.П. *Влияние содержания и состава тонкодисперсных фракций на калийное состояние серых лесных почв*. 1985. Автореферат диссерт. канд. биол. наук. М. 25 с.

Moberg J.P., Nielsen J.D. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 1983. V. 33. PP. 21-27.

Simonsson Magnus, Hillier Stephen, Öborn Ingrid. *Geoderma*. 2009. V.159. PP. 109-120.

Продуктивность люцерны второго года жизни при оптимизации минерального питания растений на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья

Чухиль А.А. и Шеуджен А.Х.

Приведены результаты исследований, которые получены в условиях многолетнего стационарного опыта кафедры агрохимии Кубанского ГАУ. Установлены оптимальные дозы микроудобрений при различных уровнях минерального питания, позволяющие получить максимальный урожай зеленой массы люцерны высокого качества. Выявлена динамика накопления элементов питания в растениях на протяжении вегетации.

Рациональное использование биоклиматического потенциала культурных растений, систематическое воспроизводство плодородия почв, улучшение баланса элементов питания без отрицательного воздействия на все компоненты агроландшафтов способствует получению стабильных урожаев. Ведущее место среди многолетних бобовых трав на Кубани принадлежит люцерне (Дроздова и др., 2014). Ее практическая ценность не ограничивается только кормовыми достоинствами – она обогащает почву азотом, служит хорошим предшественником для многих сельскохозяйственных культур, уменьшает действие водной и ветровой эрозии (Шеуджен и др., 2006а; Василько и др., 2013).

Важную роль в повышении урожайности люцерны играют микроудобрения. Микроэлементы – молибден, марганец, кобальт, медь, цинк и бор участвуют в обмене веществ, стимулируют процессы дыхания и фотосинтеза, повышают устойчивость растений к неблагоприятным условиям внешней среды, увеличивают урожайность сельскохозяйственных культур, улучшают качество продукции и сокращают сроки созревания (Хурум и др., 2009; Шеуджен и др., 2013).

Однако система удобрения люцерны сегодня базируется исключительно на использовании азотных, фосфорных и калийных удобрений, а применение микроудобрений под данную культуру весьма ограничено, что приводит к несбалансированному потреблению элементов питания, снижению урожайности и качества зеленой массы. Научные работы по изучению действия микроэлементов на рост и развитие растений люцерны и оценке эффективности применения микроудобрений в люцерновом агроценозе выполнены на почвах рисовых полей и исключительно в рисовом севообороте. Поэтому они не могут быть приняты на вооружение сельхозпроизводителями, ведущими свое хозяйство на черноземах выщелоченных в условиях зерно-травяно-пропашного севооборота (Бондарева и др. 2010; Шеуджен и др., 2006б; 2007; 2009). В связи с этим нами была изучена необходимость включения микроэлементов в систему удобрения люцерны в данных условиях.

Цель исследований – повышение продуктивно-

сти люцерны второго года жизни путем оптимизации системы удобрения. В задачу исследований входило установление действия микроудобрений на динамику содержания азота, фосфора и калия в растениях люцерны 2-го года жизни; выявление влияния микроудобрений на рост и развитие растений люцерны; изучение влияния микроудобрений на урожайность и качество зеленой массы люцерны. В настоящей статье представлены результаты, полученные в 2014 и 2015 годах.

Схема опыта приведена в соответствующих таблицах данной статьи, повторность вариантов – четырехкратная, расположение – рандомизированное, учетная площадь микроделанки – 30 м². Минеральные удобрения вносили в форме нитроаммофоски, сульфатов кобальта, марганца, меди и цинка, молибдата аммония и борной кислоты под ранневесеннее боронование. Агротехника в опыте – общепринятая для данной зоны. Выращивалась люцерна сорта Фея. Почва – чернозем выщелоченный слабогумусный сверхмощный легкоглинистый на лессовидных тяжелых суглинках. Агрохимическая характеристика почвы приведена в других работах (Василько и др., 2013; Шеуджен, 2015). Обеспеченность чернозема выщелоченного учхоза Кубань подвижными формами большинства микроэлементов – низкая: Мо – 0.11, Со – 0.07, Си – 0.10, Zn – 0.55 и В – 0.42 мг/кг почвы. Только по марганцу для почвы характерен средний класс обеспеченности – 11.2 мг/кг почвы. Содержание подвижных соединений Со, Си, Zn и Mn в почве определялось по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО, Мо – по



Растения люцерны за неделю до первого укоса (12.05.2015)

Таблица 1. Содержание азота в растениях люцерны при внесении микроудобрений, %.

| Вариант опыта | 1-й укос | | 2-й укос | | 3-й укос | |
|---|----------|------|----------|------|----------|------|
| | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 |
| N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ (фон) | 2.53 | 3.15 | 2.51 | 3.29 | 2.49 | 3.12 |
| Фон + Мо | 2.99 | 3.57 | 2.90 | 3.61 | 2.81 | 3.52 |
| Фон + Мп | 2.71 | 3.36 | 2.63 | 3.29 | 2.55 | 3.20 |
| Фон + Со | 2.84 | 3.39 | 2.74 | 3.42 | 2.66 | 3.49 |
| Фон + Си | 2.91 | 3.45 | 2.80 | 3.40 | 2.78 | 3.50 |
| Фон + Zn | 2.60 | 3.38 | 2.63 | 3.33 | 2.55 | 3.41 |
| Фон + В | 2.62 | 3.22 | 2.59 | 3.30 | 2.52 | 3.17 |

Таблица 2. Содержание фосфора в растениях люцерны при внесении микроудобрений, %.

| Вариант опыта | 1-й укос | | 2-й укос | | 3-й укос | |
|---|----------|------|----------|------|----------|------|
| | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 |
| N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ (фон) | 0.69 | 0.75 | 0.70 | 0.78 | 0.72 | 0.80 |
| Фон + Мо | 0.71 | 0.79 | 0.71 | 0.80 | 0.73 | 0.81 |
| Фон + Мп | 0.72 | 0.81 | 0.74 | 0.80 | 0.74 | 0.83 |
| Фон + Со | 0.71 | 0.79 | 0.71 | 0.79 | 0.73 | 0.80 |
| Фон + Си | 0.70 | 0.80 | 0.72 | 0.82 | 0.73 | 0.82 |
| Фон + Zn | 0.67 | 0.76 | 0.69 | 0.79 | 0.71 | 0.78 |
| Фон + В | 0.74 | 0.82 | 0.75 | 0.81 | 0.77 | 0.82 |

методу Григга в модификации ЦИНАО, а В – по методу Бергера и Труога в модификации ЦИНАО (Минеев и др., 2001).

Растительные образцы отбирали поделяночно с каждого варианта и каждой повторности. Проводили мокрое озоление растительных образцов в смеси серной кислоты и перекиси водорода. Содержание азота определяли по Кьельдалю, фосфора – колориметрически, калия – на пламенном фотометре. В течение всей вегетации наблюдали за изменением линейного роста растений и накоплением сухого вещества. Учет урожая зеленой массы проводили поделяночно методом сплошной уборки. Статистическая оценка экспериментальных данных осуществлялась методом дисперсионного анализа.

Микроудобрения, улучшая условия питания люцерны микроэлементами, оказали положительное влияние на потребление азота, фосфора и калия растениями. Так, при применении микроудобрений количество азота в растениях значительно возрастает (табл. 1). Это происходит из-за положительного влияния микроэлементов на процессы поглощения азота и включение его в метаболические процессы. Различная физиологическая роль микроэлементов характеризует их неодинаковую степень воздействия на поглощение и накопление азота. В оба года исследований бор и марганец не оказали существенного влияния на эти процессы. Наиболее значительное воздействие на поглощение азота оказывают молибден и медь. Так, в 2014 г. при внесении N20P20K20 содержание общего азота в надземных органах растений составило: 1-й укос – 2.53%, 2-й – 2.51%



Разбивка опыта (25.05.2015)

и 3-й – 2.49%. При включении молибдена в систему удобрения – 2.99, 2.90 и 2.81% соответственно. Медные удобрения позволили получить следующие показатели в рассматриваемом году: 1-й укос – 2.91%, 2-й – 2.80% и 3-й – 2.78%.

В условиях 2015 г. тенденция положительного влияния молибденовых и медных удобрений на накопление азота в зеленой массе люцерны сохранилась, однако сами показатели были выше, чем в предыдущий год исследований: в варианте с применением фонового удобрения содержание азота в растениях в 1-й укос достигало 3.15%, во 2-й – 3.29% и в 3-й – 3.12%. При использовании молибденовых удобрений рассматриваемый показатель увеличивался в 1-й укос до 3.57%, во 2-й – до 3.61% и в 3-й – до 3.52%. Медные удобрения повышали содержание азота в растениях до уровней 3.45, 3.40 и 3.50% соответственно. В 2015 г. проявилось действие кобальтовых удобрений: в 1-й укос рассматриваемый показатель составил 3.39%, во 2-й – 3.42% и в 3-й – 3.49%.

Растения люцерны содержат значительно меньше фосфора, чем азота. Наибольшее содержание фосфора в вегетативных органах растений люцерны отмечено в период весеннего отрастания. По мере развития растений количество фосфора постепенно снижается и достигает минимума в фазу цветения (укосы).

Воздействие микроудобрений на динамику содержания фосфора в растениях различно (табл. 2). В 2014 г. борные и марганцевые удобрения оказали положительное влияние на поглощение фосфора растениями люцерны. По сравнению с контролем его содержание в растениях в этих вариантах возрастало по укосам на 0.05% и 0.02-0.04% соответственно. При внесении молибденовых, кобальтовых и медных удобрений различия в содержании фосфора в растениях люцерны были незначительны, а цинковые удобрения даже в некоторой степени снижали данный показатель – на 0.01-0.02%.

Исследования 2015 г. показали, что характер накопления фосфора в растениях люцерны при использовании микроудобрений остался прежним. Максимальное содержание фосфора также отмечено в вариантах с марганцевыми и борными удобрениями. Больше положительное влияние в

условиях этого года оказали медные удобрения.

Люцерна нуждается в интенсивном калийном питании. Недостаток калия приводит к ослаблению азотфиксирующей активности клубеньковых

бактерий (Шеуджен и др., 2006а; 2013). Повышение обеспеченности люцерны микроэлементами за счет вносимых микроудобрений положительно сказалось на содержании калия в растениях (табл. 3). В 2014-2015 гг. наибольшее его количество накапливалось в вариантах с внесением молибденовых и цинковых удобрений. В среднем по укосам данный показатель был выше контроля на 0.06% в вариантах с молибденовым удобрением и на 0.05% – с цинковым. Влияние кобальтового, медного и марганцевого удобрений на содержание калия в растениях люцерны было значительно слабее. Превышение над контролем составило всего лишь 0.02-0.04%.

Рост и развитие растений тесно связаны с минеральным питанием, фотосинтезом, водообменом и, в конечном счете, определяют структуру, величину и качество урожая. Интенсивность ростовых процессов определяется генотипом сорта, но степень реализации сортового потенциала в значительной мере зависит от почвенно-климатических условий и технологии возделывания культуры (Шеуджен и др., 2006а; 2013).

Микроудобрения создают благоприятные условия для корневого питания люцерны и тем самым смягчают остроту конкурентных взаимоотношений между отдельными растениями в агроценозе. Последнее определяет формирование более высокой густоты стояния растений и лучшую их выживаемость (Шеуджен и др., 2013). Микроудобрения оказали положительное воздействие на густоту стояния (табл. 4). В 2014 г. оно было наиболее выраженным в варианте с внесением молибденового удобрения, где отмечено превышение над контролем на 42 шт./м². Слабее было действие цинкового, борного и марганцевого удобрений.

В 2015 г. в среднем за три укоса густота стояния растений в варианте с применением молибденового удобрения превышала контроль на 32 шт./м², медного – на 25 шт./м², а кобальтового и цинкового – на 20 шт./м².

К концу вегетации люцерны число растений сокращалось. Изреживание растений снижалось при внесении цинкового, медного и молибденового удобрения в оба года исследований.

Таблица 3. Содержание калия в растениях люцерны при внесении микроудобрений, %.

| Вариант опыта | 1-й укос | | 2-й укос | | 3-й укос | |
|---|----------|------|----------|------|----------|------|
| | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 |
| N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ (фон) | 1.78 | 1.81 | 1.83 | 1.76 | 1.74 | 1.81 |
| Фон + Mo | 1.83 | 1.89 | 1.88 | 1.82 | 1.79 | 1.86 |
| Фон + Mn | 1.81 | 1.84 | 1.86 | 1.79 | 1.77 | 1.84 |
| Фон + Co | 1.80 | 1.83 | 1.85 | 1.80 | 1.76 | 1.83 |
| Фон + Cu | 1.81 | 1.85 | 1.86 | 1.81 | 1.77 | 1.84 |
| Фон + Zn | 1.82 | 1.85 | 1.87 | 1.83 | 1.78 | 1.85 |
| Фон + B | 1.79 | 1.82 | 1.84 | 1.79 | 1.75 | 1.82 |

Таблица 4. Густота стояния растений по укосам люцерны при внесении микроудобрений, шт./м².

| Вариант опыта | 1-й укос | | 2-й укос | | 3-й укос | |
|---|----------|------|----------|------|----------|------|
| | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 |
| N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ (фон) | 350 | 368 | 302 | 325 | 254 | 250 |
| Фон + Mo | 392 | 400 | 344 | 356 | 296 | 284 |
| Фон + Mn | 378 | 385 | 328 | 340 | 278 | 268 |
| Фон + Co | 386 | 390 | 334 | 341 | 282 | 273 |
| Фон + Cu | 383 | 395 | 338 | 343 | 293 | 280 |
| Фон + Zn | 380 | 388 | 332 | 335 | 285 | 279 |
| Фон + B | 375 | 381 | 324 | 329 | 273 | 258 |
| HCP _{0.05} | 20 | 17 | 20 | 13 | 21 | 14 |

Таблица 5. Высота растений люцерны при внесении микроудобрений, см.

| Вариант опыта | 1-й укос | | 2-й укос | | 3-й укос | |
|---|----------|------|----------|------|----------|------|
| | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 |
| N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ (фон) | 79 | 53 | 64 | 40 | 54 | 37 |
| Фон + Mo | 88 | 60 | 76 | 52 | 68 | 48 |
| Фон + Mn | 82 | 57 | 71 | 48 | 63 | 46 |
| Фон + Co | 85 | 59 | 74 | 49 | 66 | 47 |
| Фон + Cu | 86 | 59 | 76 | 50 | 68 | 48 |
| Фон + Zn | 91 | 62 | 80 | 54 | 72 | 49 |
| Фон + B | 83 | 56 | 70 | 46 | 61 | 44 |
| HCP _{0.05} | 6 | 4 | 8 | 5 | 9 | 5 |

Таблица 6. Урожайность зеленой массы люцерны 2-го года при внесении микроудобрений.

| Вариант опыта | Урожайность по укосам, ц/га | | | | | | Прибавка в среднем за 3 укоса | | | |
|---|-----------------------------|------|------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|
| | 1-й | | 2-й | | 3-й | | ц/га | | % | |
| | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 |
| N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ (фон) | 437 | 250 | 328 | 204 | 278 | 174 | - | - | - | - |
| Фон + Mo | 445 | 257 | 338 | 213 | 292 | 182 | 11 | 8 | 3 | 4 |
| Фон + Mn | 441 | 255 | 334 | 208 | 286 | 178 | 6 | 4 | 2 | 2 |
| Фон + Co | 443 | 257 | 336 | 210 | 288 | 180 | 8 | 6 | 2 | 3 |
| Фон + Cu | 444 | 257 | 335 | 211 | 287 | 179 | 8 | 6 | 2 | 3 |
| Фон + Zn | 440 | 254 | 334 | 210 | 287 | 179 | 6 | 5 | 2 | 2 |
| Фон + B | 439 | 254 | 332 | 209 | 286 | 178 | 5 | 4 | 1 | 2 |
| HCP _{0.05} | 4 | 3 | 6 | 4 | 8 | 5 | - | - | - | - |

Таблица 7. Качество зеленой массы люцерны при внесении микроудобрений в среднем за 3 укоса.

| Вариант опыта | Кормовые единицы, ц/га | | Протеин, % | | Зола, % | |
|---|------------------------|------|------------|------|---------|------|
| | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 |
| N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ (фон) | 69.5 | 67.3 | 22.6 | 21.9 | 7.9 | 7.5 |
| Фон + Mo | 71.6 | 70.6 | 23.7 | 23.1 | 8.2 | 7.9 |
| Фон + Mn | 70.7 | 68.5 | 22.8 | 22.5 | 8.1 | 8.0 |
| Фон + Co | 71.1 | 68.9 | 23.3 | 22.9 | 8.3 | 8.0 |
| Фон + Cu | 71.1 | 69.7 | 23.5 | 22.7 | 8.2 | 7.9 |
| Фон + Zn | 70.7 | 68.4 | 22.8 | 22.5 | 8.0 | 7.8 |
| Фон + B | 70.5 | 68.2 | 22.7 | 22.3 | 8.0 | 7.7 |

Наблюдения за динамикой роста растений показали, что микроудобрения способствовали увеличению высоты стебля (табл. 5). Степень воздействия микроэлементов на высоту растений различна. В 2014 г. кобальтовое и медное удобрение увеличивали высоту растений в 1-й укос на 6 и 7 см, во 2-й – на 10 и 12 см и в 3-й – на 12 и 14 см соответственно; а молибденовое и цинковое – на 9 и 12, 12 и 16, 14 и 18 см соответственно по укосам.

Полученные в 2015 г. данные также свидетельствуют о положительном воздействии микроудобрений на высоту растений, однако сами показатели имели небольшую величину, что обусловлено неблагоприятными погодными условиями во время летней вегетации.

Микроудобрения способствовали формированию высокой урожайности люцерны (табл. 6). Наиболее существенным было влияние молибденового, медного и кобальтового удобрений. Их положительное воздействие на продуктивность люцерны наблюдалось в течение всего вегетационного периода. В 2014 г. в этих вариантах прибавка урожайности зеленой массы люцерны по сравнению с контролем в среднем за 3 укоса составила 11, 8 и 8 ц/га соответственно, а в 2015 г. – 8, 6 и 6 ц/га соответственно. Под воздействием цинкового, марганцевого и борного удобрений урожайность зеленой массы люцерны повышалась в среднем за 3 укоса соответственно на 6, 6 и 5 ц/га в 2014 г. и на 5, 4 и 4 ц/га в 2015 г.

Удобрения, применяемые на посевах люцерны второго года, повышают ее питательную ценность. При включении микроэлементов в систему удобрения люцерны сбор кормовых единиц, переваримого протеина и зольных элементов увеличивается еще в большей мере. Как видно из табл. 7, выход кормовых единиц был наибольшим при внесении молибденового, медного и кобальтового удобрений. В 2014 г. прибавки по этим вариантам составили соответственно 2.1, 1.6 и 1.6 ц/га кормовых единиц, а в 2015 г. – 3.3, 2.4 и 1.6 ц/га соответственно. Эти же микроудобрения в наибольшей степени увеличивали содержание протеина в зеленой массе. Микроудобрения не оказали

существенного влияния на зольность зеленой массы люцерны.

Таким образом, включение микроэлементов в систему удобрения люцерны способствует усилению ростовых процессов, повышению урожайности зеленой массы и улучшению ее кормовых достоинств.

Чухиль А.А. – аспирант 3-го года обучения кафедры агрохимии; e-mail: a.chukhil91@mail.ru.

Шеуджен А.Х. – доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, профессор, заведующий кафедрой агрохимии.

Кубанский государственный аграрный университет (г. Краснодар).

Литература

- Дроздова В.В., Шеуджен А.Х. и Хуако А.Ю. 2014. Научный журнал КубГАУ, 99(05): 1-14.
- Шеуджен А.Х., Куркаев В.Т. и Котляров Н.С. 2006а. Агрохимия. Майкоп: «Афиша», 1075 с.
- Василько В.П., Сысенко И.С., Новоселецкий С.И., Попондопуло А.С. 2013. Научный журнал КубГАУ, 93(09): 951-971.
- Хурум Х.Д., Шеуджен А.Х. и Онищенко Л.М. 2009. Вестник Казанского государственного университета, №1(11): 115-117.
- Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н. и Кизинек С.В. 2013. Агрохимические основы применения удобрений. Майкоп: ОАО «Полиграф-ЮГ», 572 с.
- Бондарева Т.Н., Хурум Х.Д., Шеуджен А.Х. и Онищенко Л.М. 2010. Доклады Россельхозакадемии, 2: 17-19.
- Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М. и Хурум Х.Д. 2006б. Плодородие, 1(28): 18-19.
- Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М. и Хурум Х.Д. 2007. Тр. КубГАУ, 3(7): 112-115.
- Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Бондарева Т.Н. и Хурум Х.Д. 2009. Аграрный вестник Урала, 2 (56): 71-73.
- Шеуджен А.Х. 2015. Агрохимия чернозема. Майкоп: ОАО «Полиграф-ЮГ», 232 с.
- Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А., Болышева Т.Н. и др. 2001. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ. 689 с.

Изменение окраски растений при недостатке фосфора

Т. Бруулсема

Красновато-фиолетовая или красная окраска у некоторых видов растений иногда свидетельствует о недостатке фосфора. Однако изменение окраски краев листьев может быть результатом протекания широкого ряда защитных реакций, которые позволяют растениям адаптироваться к стрессам, вызванным неблагоприятными условиями окружающей среды. Изучение физиологических и биохимических процессов, связанных с образованием пигментов, помогает объяснить ряд изменений в окраске растений. При этом следует особо отметить важную роль фосфора в переносе энергии в процессе фотосинтеза, что крайне важно для создания высокопродуктивных систем земледелия.

«Не все растения, окрашенные в красновато-фиолетовый цвет, испытывают недостаток фосфора, и не все растения при недостатке фосфора приобретают красновато-фиолетовую окраску.»

У некоторых видов растений окрашивание краев листьев в красный или красновато-фиолетовый цвет указывает на то, что растения испытывают какой-либо стресс, например, связанный с недостатком фосфора или отрицательными температурами. У других видов растений данная окраска присутствует всегда, а у каких-то видов вообще никогда не появляется. В большинстве случаев она обусловлена пигментом антоцианом (или предположительно связана с данным пигментом). В недавнем обзоре потенциальных экологических и физиологических функций, связанных с окрашиванием краев листьев растений в красный или красновато-фиолетовый цвет (Hughes и Lev-Yadun, 2015), представлено много интересных данных о подобных пигментах и о существующих взаимосвязях с недостатком фосфора.

Антоцианы имеют широкую цветовую гамму. С этими соединениями связана окраска цветков растений. Антоцианы, образующиеся при недостатке фосфора, обычно имеют красный или красновато-фиолетовый цвет. У некоторых видов растений, включая кукурузу, яблоню, грушу и землянику, признаки недостатка фосфора наиболее выражены по краям листьев (табл. 1). Как показали опыты с яблоней, при устранении недостатка фосфора красная (красновато-фиолетовая) окраска краев листьев ослабляется. У других видов растений, например, у томата, красновато-фиолетовое окрашивание наблюдается с нижней стороны листьев между жилками. У остальных видов растений, таких как сахарная свекла, рис, картофель



Недостаток фосфора у растений кукурузы лимитирует фотосинтетическую активность листьев.

и лук, цвет вообще не меняется, но с угнетением роста растений возможно потемнение зеленой окраски. Хлорофилл не содержит фосфора, поэтому при недостатке данного элемента питания у растений содержание хлорофилла может превышать содержание фосфорсодержащих соединений (Marschner, 1995).

Биологов давно интересует вопрос о том, почему растения окрашиваются в красный и красновато-фиолетовый цвет. Среди возможных причин – уменьшение маскировки насекомых-вредителей, то есть повышение их заметности для врагов. Апосематизм – другой защитный механизм, позволяющий органам растения выглядеть несъедобными или опасными для листогрызущих вредителей. Насекомые различают цвета, и при этом красный или красновато-фиолетовый цвет может означать для них, что лист либо хорошо защищен от поедания, либо обладает низкой питательной ценностью. Листья, окрашенные в красный цвет, в целом, имеют более низкое содержание азота и фосфора, а, следовательно, и менее питательны. Такие листья отличаются более высоким содержанием фенольных соединений, а антоцианы сами по себе могут быть антипитательными компонентами для насекомых и травоядных животных. У одного вида кустарника, произрастающего в Новой Зеландии, ширина окрашенной в красный цвет зоны по краям листьев прямо коррелирует с содержанием в них полигодиала – соединения, защищающего растения от поедания насекомыми-вредителями.

Птицы – наиболее часто встречающиеся враги листогрызущих насекомых, и птицы тоже различают цвета. Таким образом, отличная от зеленой окраска краев листьев может помочь им находить и уничтожать травоядных насекомых, имеющих зеленую

Таблица 1. Группировка видов растений по признакам недостатка фосфора.

| Красные (красновато-фиолетовые) края листьев | Красные (красновато-фиолетовые) другие части листьев | Листья без изменения окраски либо темно-синие-зеленые |
|--|--|---|
| Яблоня | Белокочанная капуста | Лук |
| Рапс | Эвкалипт | Картофель |
| Кукуруза | Клен сахарный | Соя |
| Чечевица | Томат | Сахарная свекла |
| Виноград | | Рис |
| Гуава | | |
| Груша | | |
| Земляника | | |
| Батат | | |



Пример интенсивного красновато-фиолетового окрашивания нижней стороны листа у растения томата.

маскирующую окраску. Птицы – довольно умные существа, чтобы понять, что край листа, поврежденный насекомыми, свидетельствует о высокой вероятности нахождения гусениц. Данные повреждения лучше заметны у растения с измененной окраской краев листьев.

Роль пигментов может также заключаться в том, чтобы помочь растениям противостоять избыточному поступлению ряда редкоземельных эле-

ментов. В избыточных количествах в растения могут поступать такие элементы, как бор (В), кобальт (Со), железо (Fe), марганец (Mn), молибден (Mo), никель (Ni) и цинк (Zn), а также и другие элементы, относящиеся к металлам, – алюминий (Al), кадмий (Cd), свинец (Pb) и серебро (Ag). Ряд антоцианов может хелатировать ионы двух и трехвалентных металлов. Редкоземельные элементы обычно больше всего накапливаются по краям листьев, чем в других частях растения.

Антоциановые пигменты могут помогать растениям противостоять стрессам, вызванным неблагоприятными внешними факторами. Это происходит за счет блокировки излучения в видимой и ультрафиолетовой областях. Данные соединения выполняют также функции антиоксидантов. С указанными механизмами связана фотопротекторная роль антоциановых пигментов – защита фотосинтетического аппарата растений от избыточного освещения.

Внутри растительных клеток в хлоропластах в ходе циклического процесса, называемого циклом Кальвина-Бенсона, за счет энергии солнечного света

из поглощаемого из атмосферы диоксида углерода образуется триозофосфат – трехуглеродный сахар с присоединенной к нему фосфатной группой. При образовании сахарофосфатов энергия частично запасается в фосфатных связях. Однако для перемещения данных соединений за пределы хлоропласта поступление фосфатов должно быть возобновлено. Если поступление фосфатов в хлоропласты сокращается, происходит замедление процесса фотосинтеза. Одна из причин – недостаточное количество фосфатов, которые могут использоваться для образования новых сахарофосфатов. Вторая причина заключается в том, что в хлоропластах накапливается крахмал, а его чрезмерное накопление ингибирует процесс фотосинтеза. При этом количество световой энергии, поступающей в хлоропласты, остается неизменным, и в результате



Недостаток фосфора у рапса.



Даже в случае сильного дефицита фосфора листья картофеля не окрашиваются в красный или красновато-фиолетовый цвет, но могут стать полностью темно-голубовато-зелеными.



Испытывающие недостаток фосфора растения сои (справа) без признаков красной или красновато-фиолетовой окраски



Недостаток фосфора у гуавы.

взаимодействия данной световой энергии с хлорофиллом и другими светопоглощающими пигментами могут образовываться свободные кислородные радикалы, а также другие окислители, обладающие повреждающим действием. Когда для защиты хлоропластов от окислительного повреждения в результате ответной реакции растений синтезируются антоцианы, эти пигменты, имеющие отличный от зеленого цвет, обеспечивают максимальную эффективность фотосинтеза.

К неблагоприятным факторам внешней среды, вызывающим стресс у растений, относятся низкие температуры, недостаток воды, низкое содержание



Недостаток фосфора у растений чечевицы – изменение окраски нижних листьев на красновато-фиолетовую.

азота и фосфора в листьях и избыточное освещение в светочувствительные фазы развития листьев. Края листьев могут быть особенно чувствительны к вышеуказанным стрессам, поэтому они в первую очередь изменяют окраску по сравнению с другими частями листьев (за исключением азотного дефицита, признаки которого в большинстве случаев сначала появля-



Листья винограда (сорт Каберне-Совиньон) с красновато-фиолетовыми краями.

ются в центральной части листьев). Края подвергаются подсыханию и охлаждению чаще, чем другие части листьев. Со временем края листьев перестают участвовать в ксилемном и флоэмном транспорте элементов питания и поэтому получают их в последнюю очередь. Во всяком случае у ряда видов растений ткани листа состоят из достаточно плотно сложенных клеток, и вблизи краев листовая поверхность имеет меньше устьичных щелей, поэтому внутреннее содержание диоксида углерода может быть сравнительно ниже из-за его ограниченной диффузии. Более низкое содержание диоксида углерода означает потенциально более высокий риск окислительного повреждения.

Появление красной (красновато-фиолетовой) окраски также часто ассоциируется с дисбалансом между поступлением и оттоком соединений в клетках растений. Фосфор играет ключевую роль в установлении баланса между поступлением и оттоком соединений в клетках растительных тканей, имеющих зеленую окраску, поскольку участвует в процессах превращения диоксида углерода в различные виды



Недостаток фосфора у батата.

сахаров и крахмал, а также в транспорте сахаров.

Итак, какое же все это имеет значение для управления фосфорным питанием растений? Во-первых, внешние признаки недостатка фосфора у растений не возникают сами по себе и требуют подтверждения – проведения анализа почвы и растений, а также сопоставления темпов роста растений. Во-вторых, в любой высокопродуктивной системе возделывания сельскохозяйственных культур фосфор, согласно биохимическим исследованиям, участвует в функционировании фотосинтетического аппарата растений – важнейшего процесса, в ходе которого происходит трансформирование световой энергии в химическую энергию сахаров, а затем и огромного количества уникальных соединений, которыми нас обеспечивают растения. Таким образом, при разработке систем выращивания растений с более высокими уровнями продуктивности и устойчивости для ежедневного обеспечения оптимального питания фосфором всех культур в севообороте в течение их жизненного цикла необходимо дальнейшее совершенствование методов диагностики условий минерального питания растений.

Д-р Бруулсема – директор Программы по фосфору Международного института питания растений, г. Гуэльф, провинция Онтарио, Канада. E-mail: tombruulsema@ipni.net



При недостатке фосфора у растений белокочанной капусты листья становятся полностью красными (красновато-фиолетовыми).

Литература

Hughes, N.M. and S. Lev-Yadun. 2015. *Environ. Experimental Bot* 119:27–39.

Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants. Second edition.* Academic Press.

Перевод с английского: В.В. Носов.

Эффективность использования жидких комплексных удобрений, содержащих полифосфаты аммония

Носов В.В.

В данном обзоре рассматривается эффективность использования жидких комплексных удобрений на основе полифосфатов аммония в сравнении с твердыми фосфорными удобрениями. Согласно результатам многочисленных исследований, при применении на большинстве типов почв жидкие полифосфаты аммония обладают такой же агрономической эффективностью, как и твердые фосфорные удобрения. Тем не менее, результаты ряда исследований свидетельствуют о том, что в некоторых почвенно-климатических условиях (на карбонатных почвах) жидкие фосфорные удобрения могут иметь определенные преимущества.

Полифосфаты аммония – жидкие комплексные удобрения (ЖКУ), используемые в сельском хозяйстве ряда стран (наиболее широко – в США и Австралии). Исходными соединениями при получении жидких полифосфатов аммония служат фосфорная кислота и аммиак. Полифосфаты образуются при объединении мономерных ортофосфатов в полимерную цепь (рис. 1). Термин «полифосфаты» используется для обозначения полимерных соединений с разной длиной цепи. Промышленностью минеральных удобрений в мире в основном выпускаются полифосфаты аммония следующего состава: 10-34-0 и 11-37-0. Данные удобрения имеют высокое содержание фосфора и представляют собой прозрачный зеленый или бесцветный раствор с большим сроком хранения (до 12-ти месяцев без перемешивания) при достаточно широком диапазоне температур. Растворы

полифосфата аммония отличаются высокой стабильностью при близкой к нейтральной величине рН (6.4) и температуре до 25°C (McBeath и др., 2007). Физико-химические свойства полифосфата аммония состава 11-37-0 представлены в табл. 1.

От 1/2 до 3/4 фосфора в полифосфатных удобрениях входит в состав полимерных цепей, а остальная часть представлена неполимеризованными ортофосфатами (Nutrient Source Specifics, 2010). В процессе гидролиза полифосфатные цепи в конечном итоге разрушаются до мономеров – ортофосфатов. Ферментативная активность почв, а также интенсивность адсорбции полифосфат-ионов почвой (и образования труднорастворимых соединений) – основные факторы, определяющие скорость гидролиза полифосфата аммония в почвах (Torres-Dorante и др., 2005). Например, при низкой температуре почвы пирофосфат

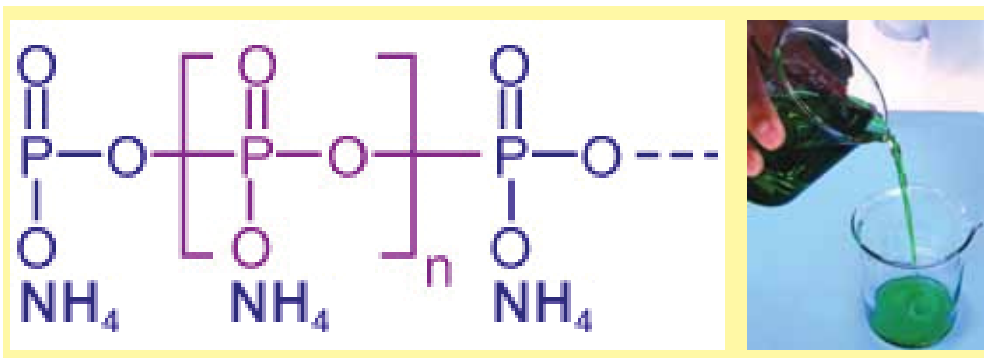


Рис. 1. Полимерная цепь полифосфата аммония (Nutrient Source Specifics, 2010).

| Таблица 1. Физико-химические свойства ЖКУ состава 11-37-0 (полифосфат аммония). | |
|---|-------------|
| Плотность при 20°C, г/см ³ | 1.41-1.47 |
| Вязкость при 20°C, мПа·с | не более 80 |
| pH | 6-7 |
| Температура кристаллизации, °C | не выше -20 |
| Источник: www.phosagro.ru | |

аммония $[(\text{NH}_4)_3\text{HP}_2\text{O}_7]$ был менее эффективен, чем аммофос, а в хорошо прогревавшейся почве данные удобрения были равноценны (Engelstad и Allen, 1971). Скорость гидролиза полифосфатов зависит и от длины полимерной цепи (Dick и Tabatabai, 1986).

Гидролиз полифосфатов в дерново-подзолистой супесчаной почве в основном заканчивался между 6-ми и 10-ми сутками, а в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве данный процесс протекал медленнее и зависел от кислотности почвы (Пяева, 1986). При этом за равный период времени в известкованной почве процесс гидролиза протекал глубже, чем в известкованной. Таким образом, в известкованной почве некоторая часть негидролизированных полифосфатов сохранялась более длительное время.

Медленное протекание процесса гидролиза полифосфатов может способствовать снижению фиксации фосфора почвой, и, таким образом, в ряде почвенно-климатических условий возможно повышение агрономической эффективности полифосфатов по сравнению с ортофосфатами (Chien и др., 2011). Так, в карбонатных почвах фосфор может находиться в пирофосфатной форме в течение нескольких недель (McBeath и др., 2006), что объясняется адсорбцией пирофосфат-ионов твердой фазой почвы (Fluid Fertilisers..., 2008). Предполагается и образование хелатных комплексов полифосфатов с ионами кальция и магния в карбонатных почвах (Hedley и McLaughlin, 2005). Экспериментально доказано, что полифосфаты имеют большую способность к комплексообразованию по сравнению с ортофосфатами (Кварацхелия и Кудеярова, 1988; Билькис, 1990). Применение полифосфата аммония на карбонатных почвах может улучшить питание растений такими микроэлементами, как медь, марганец и цинк за счет образования полифосфатных комплексов (Fluid Fertilisers..., 2008).

Изучение эффективности использования полифосфатов в качестве фосфорного удобрения в мире началось в 60-е годы, когда была разработана технология их получения. Как отмечают Чин с соавт. (Chien

и др., 2009), при сравнении жидких и твердых фосфорных удобрений необходимо учитывать следующие основные факторы: химический состав удобрений, соотношение между содержанием растворимого и нерастворимого в воде фосфора в удобрениях, реакция почвенной среды, фосфорфиксирующая способность почвы, био-

логическая активность почвы, влажность почвы (количество осадков), тип севооборота и особенности возделываемых культур (характер развития корневой системы), доза фосфора, способ внесения удобрений (разбросное или ленточное), прямое действие и последствие внесенного фосфора. Согласно исследованиям, проведенным в США и других странах, на большинстве типов почв не наблюдается разницы в доступности фосфора растениям при использовании жидкого полифосфата аммония и твердых фосфорных удобрений (Chien и др., 2009).

Ранее предполагалось, что сравнительно более высокая эффективность полифосфата аммония на почвах с нейтральной и щелочной реакцией среды может быть связана с присутствием в данном удобрении таких микроэлементов, как железо и цинк (Engelstad и Terman, 1980).

При выращивании люцерны на карбонатных почвах, имеющих повышенную фиксирующую способность по отношению к фосфатам, не наблюдалось преимуществ использования жидкого полифосфата аммония над гранулированным аммофосом (Ottman и др., 2006; Koenig и др., 2009).

В полевых опытах, проведенных в Австралии на разных типах почв, отзывчивость пшеницы на жидкие фосфорные удобрения и гранулированный аммофос, в целом, была сопоставима, но в ряде опыто-лет отмечалась несколько более высокая эффективность применения жидких удобрений, особенно аммонизированного полифосфата состава 10:14:0 (Norton и др., 2008). Исследования, выполненные на щелочных почвах (карбонатных и засоленных), продемонстрировали более высокую эффективность применения жидких фосфорных удобрений под пшеницу по сравнению с твердыми удобрениями (Holloway и др., 2001; 2006). При этом эффективность жидких фосфорных удобрений была выше в основном на почвах с высокой карбонатностью (Fluid Fertilisers..., 2008).

Сравнительное изучение взаимодействия жидкого и гранулированного аммофоса с карбонатной почвой показало более быстрое протекание процессов диффузии внесенного в почву фосфора при использовании жидкого удобрения (Lombi и др., 2004). Большая подвижность фосфора в почве при ее инкубировании с жидким аммофосом объяснялась более низкой фиксацией внесенного фосфора (под подвижностью фосфора в почве, безусловно, понимается его способность переходить из твердой фазы почвы в жидкую). По прошествии 5-ти недель инкубирования почвы с

аммофосом наблюдалось неполное растворение гранул, что объяснялось присутствием минералов типа крадаллита, которые могли образовываться и за счет диффузии ионов кальция и алюминия из почвы в гранулы удобрения. Передвижение почвенного раствора в данном случае авторы связывали с гигроскопичностью гранул удобрений. Кроме того, осмотические потоки почвенной влаги в сторону более высоких концентраций солей, создаваемых в месте внесения удобрения, слабее при использовании жидких удобрений. Это объясняет вышеуказанные различия в фиксации внесенного фосфора и его диффузии в карбонатных почвах при использовании жидких и твердых фосфорных удобрений (Fluid Fertilisers..., 2008).

Исследования взаимодействия ряда жидких и твердых фосфорных удобрений с почвой также свидетельствуют о более высокой скорости диффузии и большей подвижности внесенного фосфора в карбонатных почвах при использовании жидких удобрений (Montalvo и др., 2014a). Авторы отмечают, что за счет более равномерного распределения жидких фосфорных удобрений в объеме почвы создаются низкие концентрации фосфатов и, следовательно, снижается образование труднорастворимых фосфатов кальция в карбонатных почвах. Аналогичные результаты для карбонатных почв были получены при сравнении жидкого полифосфата аммония и твердых фосфорных удобрений – аммофоса и диаммофоса (Pierzynski и Nettiarachchi, 2016).

При инкубировании жидких фосфорных удобрений с кислыми почвами с высоким содержанием оксигидроксидов алюминия и железа, а также аллофанов, обладающих высокой сорбционной способностью по отношению к фосфатам, скорость диффузии фосфора повышалась, но подвижность фосфора в почве снижалась по сравнению с внесением твердых удобрений (Montalvo и др., 2014a). При этом равномерное распределение жидких фосфорных удобрений в объеме почвы, обладающей высокой сорбционной способностью по отношению к фосфатам, признано нежелательным приемом. Согласно результатам вегетационного опыта с яровой пшеницей, у жидких фосфорных удобрений нет агрономических преимуществ по сравнению с твердыми удобрениями на таких почвах (Montalvo и др., 2014b). Как показали полевые опыты, при локальном (ленточном внутрипочвенном) внесении жидких и твердых фосфорных удобрений в кислые почвы больше фосфора остается в доступной растениям форме по сравнению с разбросным (поверхностным) внесением (Khatiwada и др., 2012).

С помощью изотопного метода (^{33}P) в вегетационных опытах было установлено, что на карбонатных почвах коэффициент использования фосфора из удобрений растениями яровой пшеницы выше при внесении жидких фосфорных удобрений, а на кислых почвах данный показатель статистически одинаков при применении твердых и жидких фосфорных удобрений (Montalvo и др., 2015).

Важно отметить, что скорость диффузии фосфора в почве зависит от влажности почвы и от количества воды, поступающей с жидкими удобрениями (Chien

и др., 2011). Изучение процессов миграции фосфора в почве, внесенного поверхностно ленточным способом как с жидкими ортофосфатами, так и жидкими полифосфатами, показало увеличение содержания доступного растениям фосфора вплоть до глубины 13 см через 20-23 недели (Kovar, 2006). Данные результаты были получены при использовании нулевой технологии обработки почвы в «кукурузном поясе» США (штат Айова). Таким образом, поверхностное внесение жидких фосфорных удобрений в данных системах земледелия может способствовать миграции фосфора вглубь почвенного профиля. Это важно для питания фосфором культур, имеющих глубоко проникающую корневую систему. Кроме того, снижается риск потерь фосфора из почвы за счет поверхностного смыва (Smith и др., 2016).

В бывшем СССР были выполнены обширные исследования по изучению сравнительной эффективности применения жидкого и твердого полифосфата аммония и других фосфорных удобрений. Так, полевые опыты, проведенные на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, продемонстрировали одинаковую отзывчивость сельскохозяйственных культур на внесение в почву жидкого полифосфата аммония и аммофоса (Буйлова, 1985). В целом, в зерно-травяно-пропашном севообороте растения одинаково использовали фосфор из изученных видов фосфорных удобрений.

В то же время, обобщение результатов полевых опытов, проведенных в Нечерноземной зоне (дерново-подзолистые, дерново-глебовые, дерново-карбонатные и серые лесные почвы), свидетельствует о том, что эффективность применения жидкого полифосфата аммония и двойного суперфосфата была примерно одинакова, но на более тяжелых почвах прибавки урожайности сельскохозяйственных культур от жидкого полифосфата аммония были существенно выше (Пяева, 1986).

В краткосрочном полевом опыте, проведенном на супесчаной дерново-подзолистой почве в прибалтийском регионе, запасное внесение жидкого полифосфата аммония (один раз в два года) было более эффективным по сравнению с двойным суперфосфатом (Жарклиньш, 1985). Данные результаты автор связывал с меньшей фиксацией фосфора в почве полуторными оксидами железа и алюминия, а также карбонатом кальция при применении полифосфатной формы. В вышеуказанном опыте запасное внесение жидкого полифосфата аммония имело преимущества по сравнению с его ежегодным внесением. Лучшее последствие жидкого полифосфата аммония по сравнению с двойным суперфосфатом наблюдалось и в других работах, проведенных на дерново-подзолистых почвах (Пяева, 1986).

В вегетационных опытах с дерново-подзолистой почвой, черноземом выщелоченным и сероземом светлым растения овса одинаково отзывались на изученные твердые и жидкие фосфорные удобрения, включая полиформы (Билькис, 1990). При инкубировании почв с изученными фосфорными удобрениями не было выявлено существенных различий в условиях питания растений фосфором.

Использование жидкого полифосфата аммония в системе удобрения овощных культур, выращиваемых на черноземе выщелоченном и лугово-черноземных почвах, способствовало получению такой же урожайности, как и при применении твердых фосфорных удобрений (Владимирский, 1984). Однако при внесении жидкого удобрения было отмечено улучшение качества продукции белокочанной капусты, томата и лука (повышение содержание сухого вещества, витамина С, дисахаридов).

Сравнительная агрохимическая оценка жидкого полифосфата аммония и аммофоса в многолетних полевых опытах, проводившихся на черноземе типичном в лесостепной зоне Украины, показала одинаковое действие данных удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур (Рубан и др., 1986). Исследования были выполнены в зерно-свекловичном севообороте, в котором под ячмень и пожнивными культурами (кукуруза и вико-овсяная смесь на зеленый корм) фосфорные удобрения не вносились. Согласно полученным результатам, оба вида фосфорных удобрений обладали одинаковым последствием. При этом наблюдалось практически равноценное накопление подвижных форм фосфора в почве (метод Олсена) при применении полифосфата аммония и аммофоса (Рубан и др., 1988).

Эффективность применения сложно-смешанного гранулированного удобрения на основе полифосфата аммония, карбамида и хлористого калия, а также тукосмеси, приготовленной из двойного суперфосфата, карбамида и хлористого калия, изучалась на северо-приазовском карбонатном черноземе (Полтавская, 1986). В севообороте удобрения вносились под озимую пшеницу (три поля), а на кукурузе и ячмене изучалось их последствие. По прямому действию на урожайность озимой пшеницы сложно-смешанное удобрение, содержащее полифосфат аммония, оказалось несколько эффективнее – прибавка урожайности была в 1.2 раза выше по сравнению с тукосмесью (при внесении по 90 кг д.в./га). При этом последствие изученных удобрений было одинаковым. Со временем при использовании сложно-смешанного удобрения наблюдалось более сильное накопление содержания подвижных форм фосфора в почве (метод Мачигина). Соответственно, при внесении данного удобрения с урожаем зерна и вегетативной массы зерновых культур из почвы выносилось больше фосфора.

На черноземе обыкновенном с меньшим содержанием карбонатов, чем в предыдущем исследовании, такие твердые фосфорные удобрения, как полиаммофос (удобрение типа полифосфата аммония) и аммофос, оказывали практически одинаковое действие на урожайность семян подсолнечника и содержание жира в семенах (Бирюкова, 1993).

Включение в систему удобрения мандарина, выращиваемого на бурой лесной остаточной-карбонатной почве, жидкого полифосфата аммония было немного эффективнее по сравнению с использованием двойного суперфосфосфата (Криворучко, 1989). В данных исследованиях лучшие результаты были получены при запасном внесении жидкого полифосфата аммония (и хлористого калия). Жидкий полифосфат ам-

мония рекомендуется как лучшая форма фосфорных удобрений при выращивании яблони на черноземах обыкновенных за счет создания наиболее оптимальных условий питания растений фосфором, а также микроэлементами (Сергеева, 2015).

В этой связи следует отметить, что инкубирование разных видов твердых фосфорных удобрений (орто- и полифосфатов) и жидкого полифосфата аммония с черноземом обыкновенным показало, что существенно более высокая степень подвижности фосфатов в почве (метод Карпинского и Замятиной) наблюдается при использовании жидкой полифосфатной формы (Бирюкова, 1993).

Полевые опыты, проведенные в Средней Азии, продемонстрировали более высокую эффективность полифосфатных форм по сравнению с другими фосфорными удобрениями (Кузнецова, 1984; Махматмурадов, 2012; Зокиров и др., 2015 и др.). В Таджикистане на 4-х типах почв прибавка урожайности хлопка-сырца от фосфорных удобрений, внесенных локально, была в 1.1-1.9 раза выше при использовании твердого полифосфата аммония по сравнению с аммофосом (Кузнецова, 1984). При внесении полифосфатов, предположительно за счет их постепенного гидролиза, содержание подвижных форм фосфора (метод Мачигина) к концу вегетации растений в большинстве изученных типов почв было значительно выше, чем при использовании аммофоса. В связи с этим более высокий коэффициент использования фосфора из удобрений растениями наблюдался в вариантах опытов с внесением полифосфата аммония.

Изучение отзывчивости хлопчатника на разные формы фосфорных удобрений и сезонной динамики содержания подвижных фосфатов в такырно-луговой почве (метод Мачигина), проводившееся в Узбекистане, показало, что наиболее высокое содержание усвояемого фосфора в почве наблюдается при внесении полифосфата аммония и полифосфата калия по сравнению с простым суперфосфатом (Зокиров и др., 2015). Соответственно, применение полифосфатных форм удобрений способствовало получению более высокой урожайности хлопка-сырца.

В полевых опытах, проведенных на сероземе типичном в Узбекистане, внесение фосфорных удобрений в дозах 60-100 кг P_2O_5 /га в виде полифосфатов, как твердых, так и жидких, по своему действию на урожайность кукурузы было эквивалентно внесению аммофоса в дозах 140-180 кг P_2O_5 /га (Махматмурадов, 2012).

Янишевский с соавт. (1988а) в качестве показателя, определяющего эффективность действия полифосфатов, предложили использовать уровень карбонатности почвы. В вегетационных опытах с сероземными, каштановыми и черноземными почвами с повышенной карбонатностью (1.2-9.1% CO_2) твердый полифосфат аммония, полученный из апатитового сырья, по влиянию на урожайность растений и усвояемость фосфора превосходил аммофос как в прямом действии (на кукурузе), так и в последствии (на яровой пшенице). Карбонаты – основной фосфорфиксирующий компонент данных почв. Изучение фракционного состава фосфатов, а также диффузионных процес-

сов и превращения фосфатов в зоне контакта гранул удобрений с почвой позволило установить, что полиформа блокировала активные центры карбонатов, снижала их реакционную способность по отношению к ортофосфатам. При внесении твердого полифосфата аммония повышалась доля легкоподвижных фосфатов в почве (извлекаемых водной и солевой вытяжками), что способствовало повышению усвояемости фосфора в почвах с повышенным содержанием карбонатов. Твердый полифосфат аммония, полученный из фосфоритного сырья, также был эффективнее аммофоса в вегетационных опытах с вышеуказанными почвами (Янишевский и др., 1988б).

На сероземных и других почвах с повышенной карбонатностью жидкие полифосфаты аммония действовали лучше по сравнению с гранулированными фосфорными удобрениями (Янишевский и др., 1987). По влиянию на урожайность сельскохозяйственных культур и усвояемость фосфора из удобрений в год прямого действия жидкий полифосфат аммония превосходил и твердые ортофосфаты, и твердые полифосфаты. Авторами было сделано вывод о том, что южные области РФ, орошаемые районы Поволжья (а также и Средней Азии), где распространены почвы с высоким содержанием карбонатов, могут быть наиболее перспективными регионами для использования ЖКУ на основе полифосфата аммония.

Среди преимуществ жидких фосфорных удобрений стоит отметить удобство их хранения в хозяйствах, а также более точное и более равномерное внесение фосфора в почву (Nutrient Source Specifics, 2010). ЖКУ могут смешиваться с другими удобрениями и пестицидами. Разработаны и опробованы технологии дифференцированного внесения ЖКУ и пестицидов (Марченко и Мочкова, 2009). Добавление микроудобрений в растворы ЖКУ – эффективный способ внесения микроэлементов (Holloway и др., 2006). В жидкий полифосфат аммония можно добавлять в сравнительно небольших количествах сульфат или оксид цинка (Fluid Fertilisers..., 2008). При этом в каждой капле раствора содержится одинаковое количество компонентов. Жидкий полифосфат аммония может использоваться и для листовых подкормок растений (Lynch и др., 1991; Криворучко, 1994).

В заключении следует отметить, что существенной разницы в агрономической эффективности применения жидких и твердых фосфорных удобрений на большинстве типов почв не наблюдается, поэтому решение о применении того или иного продукта зависит от его стоимости и удобства использования в конкретных условиях. Тем не менее, согласно результатам ряда исследований, в некоторых почвенно-климатических условиях (на карбонатных почвах) жидкие фосфорные удобрения, включая полифосфат аммония, могут иметь определенные преимущества по сравнению с твердыми удобрениями.

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

Литература

- McBeath T.M., Lombi E., McLaughlin M.J., Bünemann E.K. 2007. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 170: 387-391.
- Nutrient Source Specifics. 2010. IPNI. www.ipni.net/specifics-en
- Torres-Dorante L.O., Claassen N., Steingrobe B. et al. 2005. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 168: 352-358.
- Engelstad O.P. and Allen S.E. 1971. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35: 1002-1004.
- Dick R.P., Tabatabai M.A. 1986. *Plant and Soil*, 94: 247-256.
- Пяева Н.Ф. 1986. Влияние жидкого полифосфата аммония на урожай сельскохозяйственных культур и фосфатный режим дерново-подзолистой почвы: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Москва. 20 с.
- Chien S.H., Prochnow, L.I., Tu S., Snyder C.S. 2011. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 89: 229-255.
- McBeath T.M., Smernik R.J., Lombi E., McLaughlin M.J. 2006. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70: 856-862.
- Fluid Fertilisers: A South Australian Manual*. 2008. Holloway B., McLaughlin M., McBeath T., Kelly J. (eds). The University of Adelaide, GRDC, SARDI, CSIRO, Australia. 111 p.
- Hedley M., McLaughlin M. 2005. Reactions of phosphate fertilizers and by-products in soils. In: *Phosphorus: Agriculture and the Environment. Agronomy Monograph*, 46: 181-252.
- Кварацхелия М.З. и Кудеярова А.Ю. 1988. Особенности проявления комплексобразующих свойств полифосфатов в почве. В кн.: «Почвенно-агрохимические и экологические проблемы формирования высокопродуктивных агроценозов». Тез. докл. Всесоюз. конф. Пуцуино. С. 89-90.
- Chien S.H., Prochnow L.I., Cantarella H. 2009. *Adv. Agron.*, 102: 261-316.
- Engelstad O.P., Terman G.L. 1980. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In: *Khasawneh F.E., Sample E.C., Kamprath E.J. (eds). The role of phosphorus in agriculture*. ASA, Madison, USA. P. 311-322.
- Ottman M.J., Thompson T.L., Doerger T.A. 2006. *Agron. J.*, 98: 899-906.
- Koenig R., Winward D., Reid C. et al. 2009. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 73: 367-374.
- Norton R., Christie R., Howie P., Walker C. 2008. *Research Summary – Altering the rate of P supply to crops – field evaluations*. GRDC Nutrient Management Initiative project report. anz.ipni.net/article/ANZ-3054
- Holloway R.E., Bertrand I., Frischke A.J. et al. 2001. *Plant and Soil*, 236: 209-219.
- Holloway R., Frischke B., Frischke A. 2006. *Fluid J., Spring 2006*: 1-2.
- Lombi E., McLaughlin M.J., Johnston C. et al. 2004. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68: 682-689.
- Montalvo D., Degryse F., McLaughlin M.J. 2014a. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 78: 214-224.
- Pierzynski J., Hettiarachchi G. 2016. *Fluid J., Winter 2016*: 4-9.
- Montalvo D., Degryse F., McLaughlin M. 2014b. *The response of wheat grown on Andisols and Oxisols to granular and fluid phosphorus fertilizers. Presentation done at the 2014 Fluid Forum, Scottsdale, USA.*
- Khatiwada R., Hettiarachchi G.M., Mengel D.B., Fei M. 2012. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 76: 2006-2018.
- Montalvo D., Degryse F., McLaughlin M.J. 2015. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 79: 577-584.
- Kovar J. 2006. *Fluid J.*, 14: 14-16.
- Smith D.R., Harmel R.D., Williams M. et al. 2016. *Agricultural and Environmental Letters*, 1: 1-4.
- Буйлова В.П. 1985. *Баланс питательных веществ при систематиче-*

- ческом внесении разных форм сложных удобрений в севообороте. В кн.: Состав и свойства почв северо-востока Европейской части ЧССР и воспроизводство их плодородия в связи с обработкой и применением удобрений. Пермь. С. 54-60.
- Рубан А.Ю., Зимовская А.Т., Рубан Р.Т. и др. 1986. *Агрехимия и почвоведение*, 49: 75-78.
- Рубан А.Ю., Рубан Р.Т. и Скороход В.И. 1988. *Агрехимия и почвоведение*, 51: 102-107.
- Карклиньши А.А. 1985. Эффективность запасного внесения жидкого полифосфата аммония и твердых фосфорно-калийных минеральных удобрений. Тр. Латв. с.-х. акад., т. 233. С. 17-21.
- Полтавская И.А. 1986. *Агрехимия*, 4: 21-25.
- Бирюкова О.А. 1993. Превращение и эффективность полифосфатов на черноземе обыкновенном карбонатном Ростовской области. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Краснодар. 19 с.
- Билькис О.Ю. 1990. Превращение фосфора жидких сложных удобрений (марки 10-34-0) в различных почвах и модельных растворах. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва. 26 с.
- Кузнецова Н.Е. 1984. Действие новых форм фосфорных удобрений на урожайность хлопчатника и коэффициент использования питательных веществ на основных типах почв Таджикской ССР. Сб. науч. тр. Тадж. НИИ земледелия. Т. 15. С. 39-45.
- Зокиров Х.Х., Нормуратов О.У., Жураев Э.Б. и др. 2015. Влияние полифосфатов на рост, развитие вегетативных и генеративных органов хлопчатника. В кн.: Наука сегодня: теоретические и практические аспекты. Междунар. науч.-практ. конф. Научный центр «Олимп». Москва. С. 207-214.
- Махматмуратов А.У. 2012. *Наука и современность*, 17: 164-168.
- Янишевский Ф.В., Кожемячко В.А. и Чернухина А.П. 1988а. *Агрехимия*, 3: 15-24.
- Янишевский Ф.В., Кожемячко В.А., Полякова Г.В. и др. 1988б. *Агрехимия*, 8: 20-30.
- Янишевский Ф.В., Кожемячко В.А., Полякова Г.В. и др., 1987. Агрехимическая оценка твердых и жидких полифосфатов аммония и их влияние на фосфатный режим почв. В кн.: Перспективы расширения ассортимента минеральных удобрений. Москва. С. 23-26.
- Владимирский Ю.Е. 1984. Сравнительная эффективность внесения жидких комплексных и твердых минеральных удобрений под овощные культуры на выщелоченном черноземе и лугово-черноземных почвах. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Краснодар. 23 с.
- Криворучко Г.И. 1989. *Субтропическое и декоративное садоводство*, 36: 121-129.
- Сергеева Н.Н. 2015. Листовая диагностика в технологической системе удобрения яблони. Научная конференция «Современные проблемы интенсификации садоводства и инновационные подходы к их решению». СКЗНИИСиВ, Краснодар. 9 с. kubansad.ru
- Марченко Л.А. и Мочкова Т.В. 2009. *Экология и сельскохозяйственная техника*, 2: 44-50.
- Lynch J., Läuchli A., Epstein E. 1991. *Crop Science*, 31: 2: 380-387.
- Криворучко Г.И. 1994. *Субтропическое и декоративное садоводство*, 38: 280-295.

Crop Nutrient Deficiency Photo Contest — 2015

Победители конкурса фотографий

«Признаки недостатка элементов питания

у сельскохозяйственных культур» в 2015 г.

Международный институт питания растений в очередной раз рад представить победителей конкурса фотографий «Признаки недостатка элементов питания у сельскохозяйственных культур». По всем четырем категориям в 2015 г. были получены отличные примеры, иллюстрирующие недостаток элементов питания у растений. Предпочтение было отдано участникам, которые предоставили высококачественные фотографии, наиболее наглядно отражающие признаки недостатка элементов питания у растения в целом, вместе с исчерпывающими результатами почвенно-растительной диагностики и данными по истории полей, касающимися применения удобрений.

Наш институт выражает благодарность всем участникам данного ежегодного конкурса, приславшим свои фотографии. Предоставленные Вами отличные материалы иллюстрируют аналитически подтвержденный недостаток элементов питания у сельскохозяйственных культур. Таким образом, Вы помогаете нам осуществлять нашу миссию по широкому информированию о методах диагностики и устранения недостатка элементов питания у растений.

Поздравляем всех победителей 2015 г., которые помимо денежного вознаграждения получают также и USB-флеш-накопитель с последней версией нашей фотоколлекции, демонстрирующей внешние признаки недостатка элементов питания у сельскохозяйственных культур. Полную информацию о данной фотоколлекции можно получить, перейдя по ссылке: <http://ipni.info/nutrientimagecollection>.

Приглашаем всех участников конкурса регулярно посещать раздел нашего сайта, посвященный данному мероприятию, где уже можно ознакомиться с условиями подачи заявок в 2016 г.: www.ipni.net/photocontest.



Отдельная категория «Кормовые культуры»



1-е место (300\$): Недостаток фосфора у турнепса.

Ж.К. Ибица, «Би-Си Фертилис» (BC Fertilis), провинция Валенсия, Испания.

Данная фотография, сделанная в Испании, – яркий пример недостатка фосфора у турнепса. Наблюдалась красновато-фиолетовая окраска листьев, а также отмечался медленный рост растения, особенно самых молодых листьев. Турнепс выращивался на суглинистой почве ($pH_{H_2O} = 7.4$) с высоким содержанием обменного калия (340 мг К/кг почвы, пламенно-фотометрический метод) и низким содержанием подвижного фосфора (5 мг Р/кг почвы, метод Олсена).



2-е место (200\$): Недостаток фосфора у батата.

С. Шринивасан, Сельскохозяйственный университет штата Тамилнад, штат Тамилнад, Индия.

Четкий пример недостатка фосфора у 3-месячного растения батата, выращиваемого на карбонатной вертисоли вблизи г. Ковилпатти (штат Тамилнад). После высадки растения не получали фосфорных удобрений. При сильном дефиците фосфора межжилковые пространства на верхней поверхности молодых листьев могут становиться красновато-фиолетовыми. Результаты агрохимического анализа почвы свидетельствуют об очень низком содержании подвижного фосфора: < 1.3 мг Р/кг почвы (метод Олсена). Результаты растительной диагностики указывают на низкое содержание фосфора (Р) в листьях (0.05%).

Категория «Азот»



1-е место (150\$): Недостаток азота у картофеля.

Д. Гейсселер и П. Лазики, Калифорнийский университет в Дэвисе, штат Калифорния, США.

Фотография была сделана на делянке, не получавшей удобрений, в опыте по изучению почвопокровных культур, который проводится Межгорным научно-исследовательским и консультационным центром (г. Талелейк, штат Калифорния). Среднее содержание нитратного азота в слое почвы 0-25 см до посева было равным 14 мг/кг почвы. На соседних делянках, где запахивалась вика шерстистоплодная (почвопокровная культура), исходное содержание нитратного азота составило 28 мг/кг почвы. Растения картофеля на этих делянках были заметно зеленее.



2-е место (100\$): Недостаток азота у бетелевой пальмы.

Н.Д. Йогендра, Университет сельского хозяйства и плодоовощеводства, г. Шивамогга, штат Карнатака, Индия.

Демонстрация недостатка азота у бетелевой пальмы – пожелтение старых, а затем и молодых листьев. В более поздние фазы роста наблюдалось усыхание верхушек листьев. Почва – опесчаненный суглинок ($pH_{H_2O} = 5.7$). Данные растительной диагностики подтвердили недостаток азота: содержание общего азота в листьях было низким (1.58%). Запасы доступного растениям азота в почве (вытяжка $NaOH + KMnO_4$) также были низкими (190 кг/га).

Категория «Фосфор»



2-е место (100\$): Недостаток фосфора у сахарного тростника.

М. Дхасаратхан, Сельскохозяйственный университет штата Тамилнад, штат Тамилнад, Индия.

Ярко выраженный недостаток фосфора у местного сорта сахарного тростника на фермерском поле вблизи г. Салем (штат Тамилнад). Края старых листьев приобрели интенсивную красновато-фиолетовую окраску. По данным почвенно-растительной диагностики, запасы подвижного фосфора в почве (20 кг P/га) и содержание фосфора в листьях (0.09% P) были низкими. Оптимальные значения для данных показателей – 75 кг P/га и 0.3% соответственно.

1-е место (150\$): Недостаток фосфора у кукурузы.

Дж. Келли и М. Мозаффари, Арканзасский университет, штат Арканзас, США.

Посевы кукурузы, испытывающие недостаток фосфора, на Научно-исследовательской станции хлопководства им. Л. Манна (г. Марианна, штат Арканзас). Содержание подвижного фосфора в почвенных образцах (0-10 см), отобранных с данного поля, было низким – 17 мг P/кг почвы (метод «Мелих-3»). Погодные условия после посева и появления всходов были прохладными и влажными, что, по-видимому, ослабило рост корней и, соответственно, поглощение фосфора. Это и привело к нарастанию внешних признаков, свидетельствующих о недостатке фосфора. С улучшением погодных условий и развитием корневой системы растений признаки недостатка фосфора исчезли без применения фосфорных удобрений.



Категория «Калий»



2-е место (100\$): Недостаток калия у арахиса.

Г.Р. Махаджан, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрального побережья (Совет сельскохозяйственных исследований Индии), штат Гоа, Индия.

Фотография сделана в районе Тиручирапалли (штат Тамилнад). В фазу цветения у растений арахиса наблюдалось характерное пожелтение старых листьев. Оно начиналось с краев и прогрессировало в направлении главной жилки. Арахис выращивался на кислой ($pH_{H_2O} = 5.8$) латеритной горной почве (крутизна склона – 14%). Почва характеризовалась недостаточным содержанием обменных оснований и очень низкими запасами обменного калия (61.3 кг K/га). Содержание калия (K) в листьях с признаками недостатка составило 0.6%, а в листьях нормальных здоровых растений, выращиваемых ниже у основания склона, – 1.8%.

1-е место (150\$): Недостаток калия у кукурузы.

Дж. Келли и М. Мозаффари, Арканзасский университет, штат Арканзас, США.

На данном поле вблизи Научно-исследовательской станции хлопководства им. Л. Манна (г. Марианна, штат Арканзас) несколько лет не применялись калийные удобрения. В результате переуплотнения почвы кукуруза имела мелкозалегающую корневую систему, что также снижало доступность почвенного калия корням растений. Анализ почвенных образцов (0-10 см) с участка, где появились признаки недостатка калия, выявил низкое содержание подвижного калия – 78 мг K/кг почвы (метод «Мелих-3»). Без применения калийных удобрений признаки недостатка калия сохранялись в течение всего вегетационного периода.



Категория «Второстепенные элементы питания и микроэлементы»



2-е место (100\$): Недостаток магния у папайи.

М.С. Нагараджа, Университет плодовоовощеводства, г. Багалкот, штат Карнатака, Индия.

Признаки недостатка магния появились у растений папайи в районе Багалкот (штат Карнатака). На старых листьях развивался межжилковый хлороз, в то время как молодые листья сохраняли нормальный вид. Это указывает на реутилизацию магния в растительной системе. На карбонатных почвах данного региона наблюдается недостаток магния у растений и требуется внесение Mg-содержащих удобрений. Результаты почвенных анализов указывают на широкое соотношение между обменными кальцием и магнием в почве ($Ca : Mg = 13 : 1$). Содержание обменных кальция и магния составило соответственно 8.82 и 0.68 смоль (экв)/кг почвы. Сравнение содержания магния в черешках листьев растений, имеющих нормальный вид и проявляющих признаки недостатка магния (0.33 и 0.17% Mg соответственно), подтверждает, что растениям не хватает именно этого элемента питания.

1-е место (150\$): Недостаток магния у кукурузы.

Дж. Келли, Арканзасский университет, штат Арканзас, США.

Недостаток магния проявился в неорошаемом углу поля (проводилось орошение дождеванием) недалеко от г. Августы (штат Арканзас). Почва – песчаная; ЕКО = 7.9 смоль (экв)/кг почвы. Результаты анализа почвенных образцов, отобранных с глубины 0-10 см в фазу выметывания метелки: $pH_{H_2O} = 4.1$ (почва : $H_2O = 1:1$), содержание обменного магния – 26 мг Mg/кг почвы. Содержание магния во флаговых листьях в фазу выметывания метелки было недостаточным (0.07% Mg). Остальные элементы питания содержались в достаточных количествах.

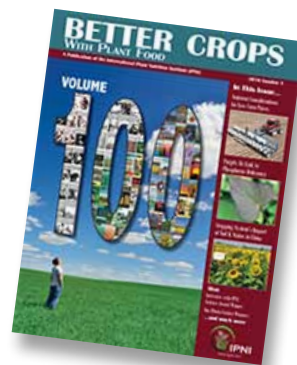


Обзор научных публикаций BETTER CROPS with plant food, № 1 2016

Ежеквартальный журнал

Международного института питания растений

(онлайн в свободном доступе <http://www.ipni.net/bettercrops>)



Влияние засухи и засоления почвы на отзывчивость зерновых культур на калийные и серные удобрения

К. Ма, Р. Белл, К. Скэнлэн, Г. Сарре и Р. Бреннан

Потребность пшеницы в калии выше при засухе по сравнению с оптимальными условиями увлажнения. Эффективность применения калийных удобрений была выше при наиболее раннем их внесении в почву. Применение калийных удобрений на слабозасоленной почве с низким содержанием подвижного калия усиливало рост растений ячменя и повышало урожайность зерна. Наблюдаемая отзывчивость на калий частично связана со способностью растений яч-

меня проявлять толерантность к замещению калия на натрий.

Принятие решений по применению минеральных удобрений при низких ценах на зерно кукурузы

Т.С. Маррелл

В условиях низких цен на зерно кукурузы многие производители поднимают непростые вопросы, связанные с планируемым применением минеральных удобрений. При снижении затрат на удобрения можно сохранить урожайность зерна и выручку, однако при этом необходимо использовать научно-обоснованный подход.

Изменение содержания подвижных форм калия в почвах под зерновыми культурами и наиболее рентабельными сельскохозяйственными культурами

П. Хи, Ф. Чен, Ш. Ли, Ш. Ту и А.М. Джонстон

Проанализированы содержание подвижных форм калия в почвенных образцах, отобранных в течение 23-х лет, и отзывчивость сельскохозяйственных культур на калий в полевых опытах (> 2 тыс.). Полученные данные свидетельствуют о том, что повышение среднего содержания подвижных форм калия в почвах Китая в большей степени связано с высокими дозами применения калийных удобрений под наиболее рентабельные сельскохозяйственные культуры. За указанный период наблюдались слабые изменения в содержании подвижных форм калия в почвах под зерновыми культурами. С учетом сильного варьирования содержания доступных растениям форм почвенного калия в различных регионах Китая при использовании разных систем земледелия необходима скорейшая проработка систем применения калийных удобрений с учетом конкретных почвенно-климатических условий.

Практика применения удобрений на оливковых плантациях с высокой плотностью насаждений в Тунисе

А. Ларби, М. Мсаллем, С. Ене-Местаоуи, М.Б. Сай, М. Эль-Хароус и Х. Боулал

Практика применения удобрений на оливковых плантациях с высокой плотностью насаждений нуждается в улучшении. Это поможет контролировать силу роста деревьев и будет способствовать повы-

шению продуктивности и снижению себестоимости, а также ослаблению негативного влияния на окружающую среду.

Изменение окраски растений при недостатке фосфора

Т. Бруулсема

Красновато-фиолетовая или красная окраска у некоторых видов растений иногда свидетельствует о недостатке фосфора. Однако изменение окраски краев листьев может быть результатом протекания широкого ряда защитных реакций, которые позволяют растениям адаптироваться к стрессам, вызванным неблагоприятными условиями окружающей среды. Изучение физиологических и биохимических процессов, связанных с образованием пигментов, помогает объяснить ряд изменений в окраске растений. При этом следует особо отметить важную роль фосфора в переносе энергии в процессе фотосинтеза, что крайне важно для создания высокопродуктивных систем земледелия.

Значение применения фосфорных удобрений в севообороте кукуруза – пшеница

Р. Кумар, С. Кармакар, А.К. Саркар, С. Датта, К. Маджумдар, Т. Сатьянараяна и А.М. Джонстон

Продуктивность севооборота снижалась, если не применялись фосфорные удобрения. Это свидетельствует о важности сбалансированного применения фосфорных удобрений на красноземных и латеритных почвах штата Джаркханд (Индия), имеющих относительно низкий уровень плодородия.

Итоги конкурса научных работ студентов и аспирантов Scholar Award 2015

Международный институт питания растений ежегодно проводит конкурс научных работ студентов и аспирантов в области питания растений в основных сельскохозяйственных регионах мира. В Восточной Европе и Центральной Азии конкурс проводится в России, Украине и Казахстане.



Осипова Дарья

Дарья обучается в магистратуре Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова на кафедре химии почв. Ее выпускная работа бакалавра была защищена на тему «Изменение калийного состояния и минералогического состава тонких фракций черноземов при внесении различных доз калийных удобрений» и выполнена в рамках проекта Российского филиала Международного Института питания растений «Совершенствование рекомендаций по внесению калийных удобрений и корректировка существующих градаций по обеспеченности почвы калием при интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур». Ее целью стала оценка изменения показателей калийного состояния, а также минералогического состава тонких фракций черноземов при внесении различных доз калийных удобрений. Во время учебы в магистратуре планируется также продолжить

калийную тематику, но на этот раз затронуть динамику сорбции-десорбции калия в черноземах. В планах – поступление в аспирантуру и продолжение научной деятельности. Дарья закончила бакалавриат с красным дипломом и на протяжении всей учебы получала повышенную академическую стипендию за отличные успехи в учебе. В скором времени выйдет первая ее научная публикация в журнале «Вестник МГУ. Почвоведение» совместно с ее научным руководителем доктором биологических наук Соколовой Татьяной Алексеевной и сотрудницей Международного Института Питания Растений Ивановой Светланой Евгеньевной. Дарья углубленно изучает английский язык для получения свободного доступа к информации о зарубежных научных достижениях, а также надеется в скором времени поспособствовать обмену опытом между российскими и иностранными учеными.



Чепко Жанна

Жанна в 2015 г. закончила Академию биологии и биотехнологии Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону) и получила диплом бакалавра по направлению «Почвоведение». Она обучалась на кафедре почвоведения и оценки земельных ресурсов, и за время обучения была премирована повышенными академическими стипендиями за успехи в учебной и научной деятельности, а также стипендией губернатора Ростовской области. Научно-исследовательская работа Жанны связана с диагностикой и экологической оценкой минерального питания растений кукурузы и состоянием плодородия черноземов обыкновенных юга России. Тема выпускной квалификационной работы, представленной на конкурс: «Многоэлементный состав растений кукурузы на черноземе обыкновенном карбонатном». Исследования были выполнены в полевых опытах, проводимых Южным федеральным университетом в сотрудничестве с Международным институтом питания растений. Жанна – автор и соавтор 7-ми публикаций по вышеуказанным тематикам. Ее цель – продолжение обучения в магистратуре Южного федерального университета и дальнейшее участие в научно-исследовательской работе в выбранном направлении.



Чухиль Анастасия

Анастасия закончила в 2013 г. бакалавриат Кубанского государственного аграрного университета (г. Краснодар) по специальности «Агрохимия и почвоведение», а в 2015 г. – магистратуру по специальности «Агробиология». С 2013 г. обучается в аспирантуре данного университета на кафедре агрохимии. За время обучения Анастасия была премирована стипендиями «PepsiCo», Российского Аграрного Движения, Администрации Краснодарского края, а также Ученого совета университета. В 2013 г. она стала призером Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства РФ и в том же году выиграла грант на стажировку в компанию «Ди-Эль-Ви Планта» (DLV Plant) в Нидерланды. Научно-исследовательская деятельность Анастасии направлена на оптимизацию минерального питания люцерны и улучшение состояния плодородия черноземов выщелоченных на юге России. Тема работы, представленной на конкурс: «Продуктивность люцерны второго года жизни при оптимизации минерального питания растений на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья». Анастасия – автор и соавтор 3-х публикаций по данной тематике. После защиты кандидатской диссертации она планирует продолжить научную работу в области мониторинга состояния посевов и программирования урожайности сельскохозяйственных культур.

Компании - члены IPNI



Agrium Inc.



Shell Sulphur Solutions



Arab Potash Company

Arab Potash Company



Simplot



Sinofert Holdings Limited



BHP Billiton



SQM



CF Industries Holdings, Inc.



Compass Minerals
Speciality Fertilizers



Toros Tarim



International Raw Materials
LTD

TOROS AGRI



ОАО «ОХК «Уралхим»



LUXI Fertilizer Industry
Group



ОАО «Уралкалий»



K+S KALI GmbH



Arab Fertilizer Association
(AFA)



The Mosaic Company



Associação Nacional para
Difusão de Adubos (ANDA)



OCP S.A.



Fertilizer Canada



ОАО «ФосАгро»



Fertiliser Association of
India (FAI)



PotashCorp



The Fertilizer Institute (TFI)



Qatar Fertilizer Company



International Fertilizer
Association (IFA)



The Sulphur Institute



International Potash Institute
(IPI)



МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ
ИНСТИТУТ

Восточная Европа и Центральная Азия

125466 Российская Федерация, Москва, ул. Ландышева, д.12, вл. 17а

Тел./Факс: 8 (495) 580 64 14

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

<http://www.ipni.net>

ipni-eeca@ipni.net

*Выше урожай и качество, сохраняя окружающую среду...
С помощью науки*