

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

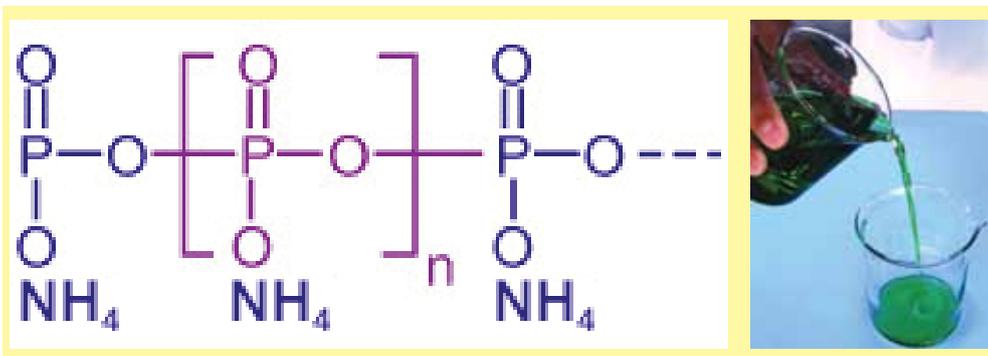


Рис. 1. Полимерная цепь полифосфата аммония (Nutrient Source Specifics, 2010).

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 хлопчатника 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 хлопчатника.

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. Пушино. 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.

