

Джексон, фракция Al-P - рН 8.5; Карпинский-Замятина, рН 5.8).

Кроме того, добавлена группа «очень высокая» обеспеченность фосфором. Это позволит более рационально использовать имеющиеся ресурсы. Оптимальное содержание доступного для растений фосфора для получения высоких стабильных урожаев лежит в границах группы «высокой» обеспеченности. Повышение содержания подвижного фосфора в почвах сверх оптимального уровня ведет к резкому снижению отзывчивости растений на внесение фосфорных удобрений.

Разработаны математические модели и соответствующая компьютерная программа, позволяющие установить реальную обеспеченность щелочных почв подвижным фосфором в зависимости от значений  $pH_{KCl}$  или  $pH_{H_2O}$ . Получен патент на полезную модель (Патент, 2009).

Использование данных математических моделей или программы, а также усовершенствованной шкалы обеспеченности почв фосфором, позволяет оптимизировать системы удобрений и, соответственно, затраты на гектар удобренной площади. Например, установив, что фосфатный уровень почвы соответствует не 5 мг  $P_2O_5$ /кг (низкая обеспеченность фосфором), а 25 мг  $P_2O_5$ /кг почвы (средняя обеспеченность фосфором), фермер, на основе имеющихся рекомендаций, может существенно снизить дозу вносимого удобрения, не опасаясь снижения урожая культур.

Внесение высоких доз фосфорных удобрений на почвах, имеющих высокую щелочность, так же нецелесообразно по следующей причине: высокая щелочность ( $pH_{KCl}$  - 8.0 или  $pH_{H_2O}$  - 8.5 и более) часто вызывается не только наличием карбонатов кальция, но и дополнительным присутствием соды. Последнее соединение довольно токсично и может негативно влиять на рост и развитие многих сельскохозяйственных культур, что резко снижает эффективность применяемых удобрений.

## Фосфор: механизмы потерь из почвы и способы их снижения

Иванова С.Е., Логинова И.В., Тиндалл Т.

В современном растениеводстве управленческие усилия больше не ограничиваются стремлением к достижению высоких урожаев или улучшению качества получаемой сельскохозяйственной продукции. Они направлены также на предупреждение возможного негативного воздействия на окружающую среду и повышение рентабельности сельскохозяйственного производства.

По оценкам экспертов, 30–40% производственных затрат в растениеводстве связано с покупкой и применением промышленных удобрений, имеющих ключевое значение для обеспечения продовольствием всего человечества, численность которого продолжает расти, и по прогнозу FAO к 2050 году до-

стигнет 9.2 миллиардов человек. Для обеспечения возрастающего населения пищей, производство продовольствия в мире должно как минимум удвоиться (FAO, 2009). Возможности для увеличения площадей пахотных земель сильно ограничены. И в такой ситуации удобрения выступают ключевым элементом в технологии выращивания культур, обеспечивая необходимое повышение продуктивности при сохранении площади пахотных земель на том же уровне. Многие участники мирового рынка продовольствия также признают наличие прямой зависимости между глобальной продовольственной безопасностью и доступностью минеральных удобрений.

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

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

## Литература

- Христенко А.А. Подвижность «подвижных» элементов питания растений в почвах // Вестник аграрной науки. - 2009 г. - № 8. - С.16-20.
- Olsen, R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (1954), U.S. Dept of Agric. Cir.939.
- Янишевский П.Ф. Химическая оценка фосфатного состояния почв // Агрохимия. - 1996. - № 4. - С.95-116.
- Методы определения фосфора в почве // Агрохимические методы исследования почв / Под ред. А.В. Соколова. 5-е изд. доп. и перераб. - М.: Наука, 1975. - С.106-190.
- ПАТЕНТ на полезную модель № 41725 Украина, МПК (2009) G01N 33/24 Способ корректировки точности оценки фосфатного состояния почв по методу Олсен (на основе гидрокарбоната натрия) / Христенко А.А., Бюл. №11. - 6 с.

ли мы, как ответственное сообщество, занимающееся сельскохозяйственным производством и озабоченное сохранением плодородия почв и окружающей среды, совершенствовать производство удобрений, повышая эффективность использования питательных веществ сельскохозяйственными растениями.

В продуктивных почвах одновременно протекающие биологические и химические процессы понижают эффективность фосфорных удобрений: коэффициент использования фосфора из удобрений составляет в среднем 15-25% от внесенной нормы. В настоящей работе рассматриваются некоторые из этих проблем и обосновывается необходимость совершенствования технологии удобрения почв путем применения удобрений с повышенной эффективностью.

Фосфор необходим для роста и развития всех сельскохозяйственных культур. В растениях фосфор входит в состав нуклеиновых кислот, фосфолипидов и целого ряда коферментов. Поэтому достаточная обеспеченность растений этим элементом необходима для нормального протекания процессов фотосинтеза, дыхания, аккумуляирования и переноса энергии, деления и роста клеток. В частности, фосфор ускоряет созревание растений, что может значительно повышать эффективность использования воды. Для нормального развития сельскохозяйственные растения должны получать достаточное количество фосфора, внесенного в нужное время и в надлежащей форме, чтобы завершить свой продукционный цикл без снижения урожайности.

Так как цены на фосфорные удобрения, по-видимому, продолжат расти в среднесрочной перспективе, повышение эффективности фосфорных удобрений является решающим фактором для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур, сохранения рентабельности и рационального использования природных ресурсов. Если мы сможем увеличить поступление фосфора из удобрений в растения и снизить его потери из почвы, то эффективность фосфорных удобрений значительно возрастет (рис. 1).

Фосфор находится в почве как в органической, так и в неорганической форме и поглощается растениями из почвенного раствора. Фосфор усваивается растениями в виде аниона фосфорной кислоты, главным образом, в виде дигидрофосфата ( $H_2PO_4^-$ ).

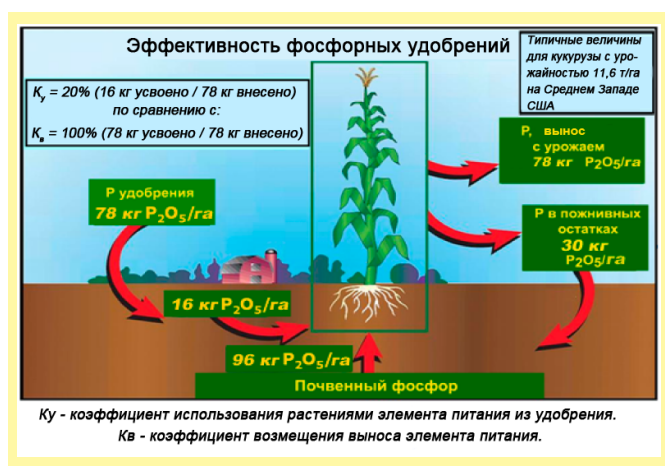


Рис. 1. Эффективность фосфорного удобрения в почвах (Fixen, 2010)

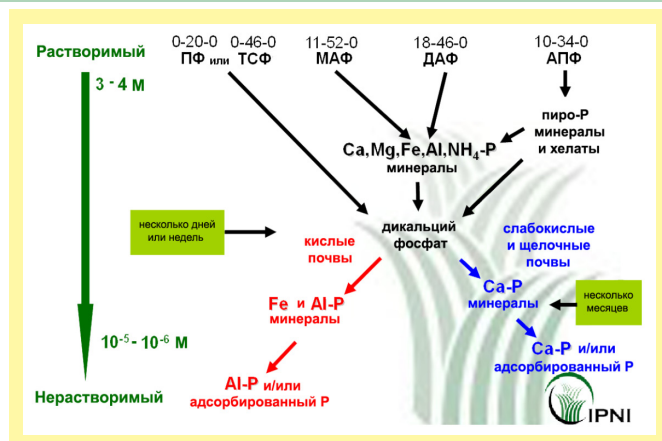


Рис. 2. Трансформация фосфорных удобрений и образовавшихся труднорастворимых соединений (Fixen, 1992).

Условные обозначения: ПФ – простой суперфосфат  
ТСФ – двойной суперфосфат  
МАФ – моноаммонийфосфат (аммофос)  
ДАФ – диаммонийфосфат (диаммофос)  
АПФ – полифосфат аммония

Гидрофосфат ( $HPO_4^{2-}$ ) также усваивается растениями, но в меньшей степени. Это связано с тем, что в условиях слабокислой реакции среды, характерной для большинства основных плодородных почв (рН почвенного раствора колеблется от 5 (дерново-подзолистые почвы) до 7 (черноземы)), растения имеют в своем распоряжении главным образом дигидрофосфат, значительно преобладающий над гидрофосфатом. В результате минерализации органического вещества почвы фосфор, содержащийся в природных органических соединениях, органических удобрениях и компостах, переходит в легкоусвояемые растениями минеральные соединения.

Рассмотрим основные факторы, оказывающие негативное влияние на эффективность фосфорных удобрений. Прежде всего, иммобилизация или осаждение водорастворимых солей фосфорной кислоты из удобрений, то есть химическое связывание фосфатов почвами, снижает концентрацию минеральных соединений фосфора в почвенном растворе. Кроме того, потери фосфора из почвы могут быть связаны с эрозией почвы. На некоторых полях фосфор вымывается поверхностным и почвенным стоком вместе с почвенным раствором, что часто является причиной эвтрофикации водоемов. Снижение этих потерь является частью рационального природопользования, которое должно признаваться и осуществляться каждым руководителем, исследователем и сельхозпроизводителем.

Среди всех рассматриваемых факторов, наибольшее снижение эффективности фосфорных удобрений связано с химическим связыванием фосфатов катионами-антагонистами. Водорастворимые соли фосфорной кислоты, попадая в почвы с удобрениями, через некоторое время в слабокислых и слабощелочных условиях в результате химического связывания с кальцием (Ca) и магнием (Mg) превращаются в двузамещенные фосфаты – дикальций фосфат ( $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ ) и димагний фосфат ( $MgHPO_4$ ), а в кислой среде в результате взаимодействия с оксидами алюминия и железа – в малорастворимые фосфа-

**Таблица 1.** Эффективность минеральных удобрений, содержащих аммофос без обработки полимером AVAIL® и с данным препаратом.

Вариант опыта	Пшеница яровая	Картофель столовый	Лук репчатый	Свекла столовая	Капуста белокочанная
	т/га				
Контроль	2.81	25.9	18.1	33.8	10.2
NPK	3.69	49.3	27.1	51.0	13.0
NPK (МАФ+Avail)	4.01	58.8	29.0	55.0	15.8
НСП <sub>05</sub> , т/га	0.30	4.9	1.5	3.9	2.9

ты Al и Fe ( $AlPO_4$ ,  $Al(OH)_3PO_4$ ,  $FePO_4$ ,  $Fe_2(OH)_3PO_4$  и др.). Хотя считается, что максимальная доступность фосфора для растений достигается при значениях рН, близких к нейтральному (от 5.5 до 7.5), и в этом диапазоне значений рН происходит фиксация фосфатов почвы. По некоторым оценкам, более тридцати комбинаций фосфатов участвуют в процессе фиксации фосфора. Химическая фиксация фосфатов, поступивших из внесенных удобрений, удерживает эффективность применяемых фосфорных удобрений на относительно низком уровне и увеличивает издержки сельскохозяйственного производства. Эффективность использования фосфора из удобрений растениями в первый год применения оценивается в пределах 5–25% от внесенного количества. Для того, чтобы снизить себестоимость сельскохозяйственной продукции и не допустить эвтрофикацию водных объектов, эффективность использования фосфорных удобрений необходимо повышать (рис. 2).

Исследования показали, что такие агротехнические приемы как ленточное внесение удобрений или технологии прямого посева с одновременным внесением удобрений, а также использование высокоэффективных азотных и фосфорных удобрений, могут повысить урожай и эффективность использования питательных элементов во многих системах земледелия. Большая часть этих приемов была изучена в течение многих лет, и было показано, что данные приемы также могут увеличивать эффективность и фосфорных удобрений.

Исследования в этом направлении будут продолжаться, но уже показано, что именно улучшение химического состава удобрений оказывает влияние на реакционную способность труднорастворимых соединений, которые образуются в непосредственном окружении гранул фосфата или в пределах ленты внесенного удобрения. Одним из таких препаратов является продукт, который продается под брендом AVAIL®<sup>1</sup>.

AVAIL® — это органический комплекс, содержащий сополимеры малеиновой и итаконовой кислот, а также запатентованные производные дикарбоновых кислот. Он разработан для того, чтобы связать катионы-антагонисты (Al, Fe, Ca, Mg и др.) в почве вокруг гранулы удобрения и тем самым уменьшить химическое связывание фосфора и сохранить его в форме, доступной для растений, в течение большей части вегетационного периода однолетних сельскохозяйственных культур. AVAIL® поставляется по всему миру фирмой Specialty Fertilizer Products. По

информации компании-производителя, результаты испытаний продукта AVAIL®, проведенные третьей стороной, включая данные, полученные в университетах и государственных учреждениях, а также демонстрационные опыты на полях фермеров, показали стабильное повышение эффективности использования фосфора из удобрений, которое может быть оценено следующими показателями: рост урожайности, улучшение качества продукции, повышение концентрации фосфора в тканях растений и увеличение его доступности растениям в течение вегетационного периода. Полимер AVAIL® используется для пропитывания сухих гранулированных фосфорных удобрений или включения в состав жидких препаратов, таких как полифосфаты аммония или растворы, содержащие ортофосфаты, которые могут использоваться в качестве стартовых (припосевных) удобрений. Полученные данные также показывают применимость AVAIL® для фертигации (внесения удобрений в системах капельного орошения) (Tindall, 2011).

В 2009-2010 годах в Украине кафедрой агрохимии и качества продукции растениеводства Национального университета биоресурсов и природопользования Украины проводились опыты по изучению эффективности AVAIL® при обработке им аммофоса. Полученные результаты показали, что добавление препарата AVAIL® повышает эффективность применения фосфорных удобрений.

Полевые испытания были проведены на опытной станции (Бориспольский район, Киевская область) в овощном севообороте (пшеница яровая, картофель столовый, свекла столовая, лук репчатый, капуста белокочанная) в условиях орошения на темно-серой оподзоленной легкосуглинистой почве, характеризующейся низким для овощных культур и средним – для пшеницы содержанием подвижного фосфора (156 мг/кг  $P_2O_5$ , определенного по методу Кирсанова).

Общая схема опыта для всех культур включала варианты: 1) Без удобрений (контроль); 2) NPK; 3) NPK (МАФ + AVAIL). Во втором варианте использовали минеральные удобрения в виде аммофоса, аммиачной селитры и калия хлористого (для пшеницы) или сульфата калия (для овощных культур). В варианте 3 обычный аммофос был заменен на аммофос с добавлением AVAIL®. Под пшеницу яровую дозы удобрения составили 50 кг N/га, 80 кг  $P_2O_5$ /га и 80 кг  $K_2O$ /га, внесенных в основное внесение, и 50 кг N/га - в подкормку в фазе кущения. Под картофель столовый вносили в основное удобрение 85 кг N/га, 100 кг  $P_2O_5$ /га и 180 кг  $K_2O$ /га, в подкормку перед гребнеобразованием – 55 кг N/га. Лук репчатый удобряли в основное внесение 70 кг N/га, 90 кг  $P_2O_5$ /га и 120 кг

<sup>1</sup>Упоминание данного продукта не означает его продвижения на стоящей публикации.

K<sub>2</sub>O/га, в подкормку – 30 кг N/га в фазу 3-6 листков. Под свеклу столовую вносили в основное удобрение 90 кг N/га, 80 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/га и 120 кг K<sub>2</sub>O/га; под капусту белокочанную – 90 кг N/га, 100 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/га и 160 кг K<sub>2</sub>O/га и 30 кг N/га в подкормку в фазу 4-6 листков.

В данном исследовании контрольный вариант без удобрений сравнивался с вариантами, в которых вносились минеральные удобрения, содержащие аммофос без обработки полимером AVAIL® и с данным препаратом (табл. 1). Результаты настоящего исследования показали, что обработка аммофоса препаратом AVAIL® повышает эффективность применения фосфорных удобрений для всех изученных культур. Применение минеральных удобрений повышало урожайность яровой пшеницы на 0.88, картофеля на 23.4, репчатого лука на 9.0, столовой свеклы на 17.2, а капусты белокочанной на 2.8 т/га по сравнению с контролем. Обработка аммофоса полимером AVAIL® повысила урожай зерна пшеницы яровой еще на 0.32, картофеля столового на 9.5, лука репчатого на 1.9, свеклы столовой на 4.0, а капусты белокочанной на 2.8 т/га.

Наряду с повышением урожайности было достигнуто и улучшение качества полученной продукции при использовании продукта AVAIL® в составе аммофоса. Так, была отмечена тенденция к повышению содержания витамина С и снижению содержания нитратов в клубнях картофеля.

Таким образом, обработка фосфорных удобрений полимерами – один из перспективных путей повышения эффективности фосфорных удобрений. Препарат AVAIL® позволяет ослабить процессы связывания фосфора в почвах, повышая при этом коэффициент его использования растениями, что делает применение данного полимера экономически и экологически обоснованным приемом в технологии выращивания сельскохозяйственных культур.

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.

Логонова И.В. – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и качества продукции растениеводства Национального университета биоресурсов и природопользования Украины. e-mail: pristash@mail.ru

Тиндалл Т. - главный агроном J.R. Simplot Company. e-mail: terry.tindall@simplot.com

Авторы выражают благодарность сотрудникам Национального Университета Биоресурсов и Природопользования Украины: доктору сельскохозяйственных наук, профессору Быкину А.В. за координацию исследований, а также Быкину Н.Н., Суворовой Н., Тарасенко А., Гордиенко С. и Голембовскому А. за помощь в их проведении.

## Литература:

- The state and food and agriculture, FAO, 2009.
- Fixen P. P Efficiency and Effectiveness in Cropping Systems of the U.S. Symposium: Optimizing the Efficiency of P Fertilizer Use to Conserve an Essential and Limited Global Resource, November 2, 2010
- Fixen P. Optimum Phosphate Fertilizer Products and Practices for Temperate Climate Agriculture. Proceedings of an International Workshop Phosphate Fertilizers and the Environment, March 23-27, 1992
- Tindall T. and Mooso G. Nitrogen and phosphorus mechanisms of loss from the soil system and effects to slow those losses and increase plant availability. Proceedings of the Western Nutrient Management Conference Vol. 9 Reno Nevada March 3-4, 2011.
- Soil Fertility Manual, IPNI, 2006.

## Состав стартовых удобрений и способы их внесения при возделывании кукурузы по ресурсосберегающим технологиям

У.Б. Гордон

Для оценки четырех способов внесения стартового удобрения (в рядки с семенами, 5x5, 5x0 и лентами шириной 20 см с рядками семян по центру) были проведены полевые опыты на Канзасской северо-центральной опытной станции. Дозы стартового (припосевного) удобрения по азоту составили 5.6, 16.8, 33.6, 50.4 и 67.2 кг N/га, а по фосфору и калию – 16.8 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/га и 5.6 кг K<sub>2</sub>O/га. Был также и контрольный вариант без стартового удобрения. Стартовое удобрение, внесенное в рядки вместе с семенами, снижало густоту стояния растений и урожай зерна. Струйное внесение стартового удобрения узкими лентами по поверхности почвы (5x0) по эффективности было приблизительно равным способу внесения 5x5. Увеличение стартовой дозы азота вплоть до 33.6 кг/га стабильно повышало поглощение P растениями и урожай зерна. Была также проведена оценка применения дикарбоксильного сополимерного продукта в стартовом удобрении, которая показала положительное влияние данного препарата на эффективность P-удобрений и, соответственно, на урожай зерна кукурузы.

В центральной части Великих равнин растет число сельхозпроизводителей, применяющих ресурсосберегающие системы обработки почвы, поскольку данные

системы имеют ряд преимуществ. Это и снижение эрозионных потерь почвы, и повышение эффективности использования почвенной влаги, а также