



# УСПЕШНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ ФОСФОРА

*Ирина Логинова, канд. с.-х. наук, доцент кафедры агрохимии НУБиП*

Среди основных элементов питания растений (NPK) агрономы всех стран наибольшее внимание уделяют фосфору. В отличие от многих других элементов, внесенный в почву фосфор практически не передвигается от зоны внесения. Его отличительной чертой является быстрая и достаточно сильная фиксация почвой, в результате чего растения могут поглотить только малую долю внесенных удобрений (в среднем 25–30% при внесении сплошным методом и 40–50% при локальном внесении). В Украине проблема фосфора в земледелии усложняется постоянным недовнесением фосфорных удобрений, а также нарушением оптимального соотношения между фосфором, азотом и калием.

Значение фосфора для растений сложно переоценить, поскольку он принимает участие в ключевых функциях растительного организма. Прежде всего, это энергетический обмен: фосфор является составляющей «энергетической валюты» растения – АТФ. Нормальная обеспеченность растений фосфором необходима для формирования семян, стимулируя ускоренное созревание культур, в частности зерновых. На начальных этапах роста растения фосфор влияет на развитие корневой системы, ее сопротивляемость болезням и вредителям, а также неблагоприятным абиотическим условиям (например, снижает риск вымерзания озимых).

В растениях фосфор достаточно мобилен, при недостатке в почве передвигается из более старых в молодые органы растения и в репродуктивные органы, в результате чего симптомы дефицита проявляются на старых листьях (в виде темно-зеленого с пурпурным оттенком окраса).

## ФОСФОР-ЭФФЕКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР

Не все растения одинаково усваивают фосфор из почвы и удобрений. И это необходимо учитывать при администрировании фосфорных удобрений. Фосфор-эффективные культуры и сорта имеют повышенную способность к поглощению фосфора. Это связано с рядом причин, таких как размер и морфология корневой системы (распределение корней в почвенной толще); соотношение между подземной и надземной частями растения; образование микоризы (кроме семейства Капустные и некоторых других); изменения рН ризосферы (могут достигать 2 единиц, обусловлены балансом между поглощением катионов и анионов, усиленным выделением протонов в ответ на дефицит фосфора); увеличение фосфатазной активности ризосферы (гидролиз органических фосфорсодержащих соединений почвы); выделение корнями органических кислот (об-

разуют анионы цитраты, малаты, fumarаты, оксалаты и др., повышающие растворимость неорганических соединений фосфора в почве; особенно явно проявляется это свойство у таких культур, как люпин, гречка и рапс).

Фосфор-эффективность отличается не только для разных культур, но также и для различных сортов/гибридов одной культуры. Характеристика корневой системы сорта играет важную роль в поглощении фосфора из почвы. Например, некоторые сорта имеют хорошо развитую корневую систему, которая исследует большой объем почвы и «добирается» до большего количества фосфора. Другие сорта характеризуются более агрессивной реакцией корневых выделений, что позволяет им мобилизовать почвенные запасы фосфора и более эффективно их использовать. Некоторые сорта формируют более длинные корневые волоски, что позволяет увеличить площадь контакта корня с почвой.

Такие культуры, как лук, томаты и бобы характеризуются низким уровнем поглощения фосфора из почвы и низким соотношением корней и надземной массы. Они могут быть охарактеризованы как культуры с низкой фосфор-эффективностью. В то же время рапс и шпинат, например, имеют повышенную способность поглощать фосфор из почвы, а рожь и пшеница – высокое соотношение корней к надземной массе, что переводит их в разряд фосфор-эффективных культур.

В почве фосфор наименее мобилен среди NPK, что часто выводит его в разряд лимитирующих факторов: дефицит фосфора является вторым после азота по частоте встречаемости. Более 80% фосфора почвы непосредственно недоступны для растений. А его высокая ретроградация (превращение в малодоступные соединения) является «камнем преткновения» успешной технологии внесения фосфорных удобрений.

### СКОЛЬКО И КОГДА ВНОСИТЬ?

С чего же начинается успешный менеджмент фосфора? Самый первый вопрос, на который ищет ответ агроном: есть ли потребность во внесении фосфора, и если есть, то сколько его вносить? Что касается первой части вопроса, то теоретически потребность во внесении фосфора существует всегда. Во-первых, необходимо восполнить вынос элемента урожаем; во-вторых, как свидетельствуют многочисленные исследования, даже на хорошо обеспеченных почвах ряд культур, как правило, хорошо откликается на внесение даже небольших норм фосфора при посеве; в-третьих, оптимизация питания растений подразумевает определенное соотношение между элементами в почвенном растворе, которое изменяется при внесении других элементов.

Для установления норм фосфорных удобрений существует ряд методик расчета, результаты которых подчас несколько отличаются. Это и метод рекомендованных норм, и расчет норм фосфорных удобрений на насыщение и/или поддержание оптимального содержания подвижного фосфора в почве, и нормативные методы расчета, и балансово-расчетные методы. Выбирая какой-либо метод, следует не реже чем раз в 3–4 года проводить анализ почвы для контроля содержания фосфора: снижение содержания доступного фосфора в почве свидетельствует об истощении почвенных запасов, сильное же увеличение может свидетельствовать о зафосфачивании почвы. Также эффективной оказывается растительная диагностика, помогающая понять, насколько хорошо обеспечены растения фосфором на протяжении периода вегетации, а значит, насколько правильно была рассчитана норма внесения удобрений.

При установлении норм внесения фосфорных удобрений обязательно должны быть учтены следующие факторы: биологические особенности культуры, глубина проникновения и характер развития ее корневой системы, pH почвы, содержание органического вещества в почве, структура почвы, предшественник и др.



**АГРОНОМ**  **AGRON**  
мінеральні добрива

Центральний офіс:  
03680, м. Київ,  
вул. Велика Васильківська 72, під'їзд 2, поверх 7  
тел./факс: (044) 206-72-61 (62)  
моб.тел.: (050) 351-43-93  
e-mail: office@agron.com.ua  
www.agron.com.ua

Вторым вопросом, следующим за расчетом нормы фосфора, является распределение ее по срокам внесения. Факт низкой подвижности фосфора в почве должен быть ключевым при менеджменте фосфорных удобрений. Не существует одного универсального способа внесения удобрений под все культуры. Решение должно приниматься, исходя из характеристики культуры и фосфорного статуса почвы.

При низком содержании фосфора в почве наиболее рациональным будет сочетание рядкового внесения фосфора и внесения вразброс до посева. При среднем уровне содержания доступного фосфора в почве фосфорные удобрения могут быть внесены либо вразброс перед посевом, либо при посеве в рядки (в сниженной норме). При высоком содержании фосфора в почве отклик на фосфорные удобрения низкий, лучший вариант внесения – в рядки при посеве. При очень высоком содержании фосфора при традиционной системе земледелия нет необходимости во внесении фосфора. При использовании минимальных и нулевых технологий решение должно приниматься в каждом конкретном случае.

Особенно актуальным выбор сроков и способов внесения фосфорных удобрений становится на почвах, характеризующихся высокой способностью к связыванию фосфора (в первую очередь, это кислые почвы, а также щелочные, карбонатные). Для уменьшения ретроградации фосфора в почве рекомендуется вносить водорастворимые фосфорные удобрения в гранулированной форме (меньшая площадь контакта с почвой) локально



ближе к периоду потребления растением (предпосевное и припосевное).

Стартер наиболее эффективен при посеве семян в холодную, влажную почву независимо от уровня плодородия почвы. В холодной и влажной почве замедляется рост и развитие корневой системы растений. Наряду с этим при таких условиях уменьшается подвижность элементов питания в почве, замедляется минерализация органического вещества (как результат сниженной активности почвенной микрофлоры). Такие условия чаще всего складываются рано весной или поздно осенью, хотя почвы, обрабатываемые по ресурсосберегающим технологиям, также, как правило, холоднее и более влажные по сравнению с традиционными технологиями обработки из-за наличия на их поверхности растительных остатков. Таким образом, при использовании указанных выше технологий внесение стартера приобретает еще большую важность.

Фосфор является единственным элементом из NPK, который может быть внесен при посеве всей необходимой нормой. При этом норма может быть снижена по сравнению с основным внесением. Правда, тут нужно понимать, что «смещение» в пользу припосевного фосфора не всегда может оказаться успешным: для культур, имеющих хорошо развитую корневую систему, которая пускается осваивать нижние горизонты почвы, внесенный при посеве фосфор может оказаться выше зоны основного развития корней; к тому же при неблагоприятных погодных условиях фосфор остается в верхнем сухом слое почвы, откуда растения не могут его эффективно поглощать. Последнее касается в первую очередь традиционной системы обработки почвы. При ресурсосберегающих технологиях ситуация может выглядеть иначе.

Сегодня в Украине припосевное внесение удобрений часто становится единственным источником фосфора в системе удобрения многих культур. Это мероприятие часто оказывается довольно эффективным, учитывая высокую ретроградирующую способность наших почв по отношению к фосфору. Однако длительное внесение удобрений в рядки в результате приводит к истощению почвы, снижению уровня ее плодородия. Даже на высокоплодородных почвах не отменяется «закон Либиха», или «закон возврата».

С точки зрения сохранения плодородия почвы длительное рядковое внесение фосфора может привести к снижению содержания доступного фосфора. Этого же можно ожидать и при длительном внесении фосфора в низких нормах. В таком случае рекомендуется периодическое внесение повышенных норм фосфора вразброс для сохранения содержания фосфора в почве на среднем и повышенном уровне.

Выбор в пользу рядкового или сплошного внесения фосфора следует делать исходя также и из характеристик выращиваемой культуры. Пропашные культуры, в частности кукуруза, предпочитают условия, когда фосфор равномерно распределен во всей зоне развития корней. Лучший эффект может быть достигнут при совмещении обоих методов внесения фосфора.

Зерновые злаки имеют слабо развитую корневую систему, а значит, и возможность «исследовать почву». К тому же, у них короткий вегетационный период, который вдобавок приходится на холодное время года. Поэтому размещение фосфора для этих культур более критично, нежели для пропашных и многолетних. Они часто лучше откликаются на локальное внесение, особенно на почвах с низким содержанием фосфора и при условии его высокой ретроградации. На обеспеченных фосфором почвах эффективность локального и равномерного внесения удобрений практически одинакова.

Для сои преимущество имеет предпосевное внесение фосфорных удобрений вразброс. Такое отличие от зерновых поясняется различием в развитии корневой системы.

Люцерна и другие фуражные культуры, как злаковые, так и бобовые травы, формируют большое количество мелких корней возле поверхности почвы, поэтому они способны эффективно поглощать фосфорные удобрения, вносимые ежегодно вразброс. Для них наилучшей практикой будет предпосевное внесение фосфора и ежегодное поверхностное внесение вразброс.

Перспективным способом внесения фосфора является внекорневая подкормка. При этом коэффициент использования фосфора из удобрений значительно возрастает. Внесенный на лист фосфор быстро вовлекается в метаболизм растения.

Внесение фосфора на лист имеет ряд ограничительных факторов. Во-первых, это растворимость самих удобрений (до недавнего времени большинство источников фосфора имели невысокую растворимость в воде и большое количество балластных примесей). Во-вторых, объем раствора, попадающего на растительный покров, и концентрация в нем фосфора, которая может быть внесена без негативного влияния на лист (например, мочевины может быть внесена на лист в значительно больших концентрациях, чем многие источники фосфора, без вреда растению). В-третьих, в начале сезона, когда проблема фосфора стоит особенно остро, листья растения еще имеют небольшое проектное покрытие, что делает внекорневое внесение мало эффективным.

Заметной эффективности от внекорневого внесения фосфора можно достичь чаще всего в условиях дефицита элемента в почве, а также при неблагоприятных погодных условиях, когда поглощение фосфора корневой системой усложнено (низкая температура и низкая влажность, плохая освещенность).

В некоторых случаях большинство потребности растения в фосфоре может быть удовлетворено внекорневым внесением. Однако в условиях недостаточной обеспеченности почв доступным фосфором его листовое внесение не в состоянии обеспечить потребности культуры.

## ЛУЧШАЯ ФОРМА ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ

Третий вопрос, которым обеспокоен каждый агроном: в какой форме вносить фосфор? И ответ на этот вопрос зависит от характеристик почвы, срока внесения, погодных-климатических условий, выра-

Источник P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
		общий (%)	доступный (%)	водорастворимый (% от общего)
Простой суперфосфат (OSP)	0	21	20	85
Двойной суперфосфат (CSP)	0	45	45	85
Аммофос (MAP)	11	49	48	82
Диаммофос (DAP)	18	47	46	90
Полифосфат аммония (APP)	10	34	34	100

Source: Ohio Agronomy Guide. Ohio Cooperative Extension Service Bull.472.

щиваемой культуры и, не в последнюю очередь, от материальных и технических возможностей агрария.

Сегодня отечественный рынок предлагает две группы фосфорсодержащих удобрений: водорастворимые и кислоторастворимые. Водорастворимые, к которым относятся суперфосфаты, аммофос, диаммофос, нитроаммофоски и другие комплексные удобрения, быстро высвобождают фосфор в почвенный раствор. Они рекомендуются для внесения во все сроки и на всех типах почв, однако следует помнить, что фосфор из данных удобрений легко взаимодействует с компонентами почвенного раствора, что особенно актуально на почвах с высокой способностью к связыванию фосфатов.

Кислоторастворимые фосфорные удобрения, например, фосфоритная мука, рекомендуются для внесения на кислых почвах под основную обработку почвы, поскольку фосфор в них находится в недоступном для растений виде трехзамещенных фосфатов и может быть поглощен только после их взаимодействия с кислым почвенным раствором. Следует отметить, что эта группа удобрений значительно уступает по популярности водорастворимым формам.

По формуле основные фосфорные удобрения в настоящее время представлены в виде солей ортофосфорной и полифосфорных кислот. Фосфорные удобрения на основе ортофосфорной кислоты – это преимущественно твердые удобрения, а полифосфорной – жидкие. Большинство опытов по сравнению эффективности орто- и полифосфатов свидетельствует, что, внесенные в одинаковой норме, они дают одинаковую прибавку урожайности культур.

Поглощение фосфора растениями не зависит от того, в какой препаративной форме (твердой или жидкой) вносится удобрение. Поглощение элемента из жидкого и твердого фосфорного удобрения зависит от таких факторов, как способ внесения, особенности культуры и развития ее корневой системы, анализа почвы, климатических условий. Количество воды, присутствующее в жидком удобрении, незначительно по сравнению с почвенной влагой. Жидкая форма удобрения позволяет более равномерно расположить фосфор в почвенном слое и быстро насытить почвенный раствор доступными фосфатами.

## СИНЕРГИЗМ С ДРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Для повышения эффективности фосфорных удобрений необходимо учитывать его синергети-

ческие отношения с другими элементами. Внесение азотных удобрений усиливает поглощение растением фосфатов. При этом нужно помнить, что фосфор сам по себе имеет низкий солевой индекс и может быть внесен вместе с семенами, тогда как азот и калий, вносимые вместе с фосфором, имеют высокий солевой индекс и могут вызывать поражение молодых проростков. В таком случае рекомендуется внесение по схеме 5 × 5 (когда удобрения вносятся на 5 см ниже и на 5 см в сторону от семян).

При припосевном внесении лучший эффект получают от сочетания фосфора с аммонийной формой азота: аммофос (MAP), полифосфат аммония (APP). Полифосфат аммония часто используют при внесении вместе с семенами (pop-up). Также эффективными оказываются и другие ЖКУ, при этом в жидкие удобрения могут быть добавлены при необходимости пестициды и микроэлементы (с условием предварительного проведения теста на совместимость).

## ИННОВАЦИИ В ВИДЕ МИКРОГРАНУЛ

Для решения проблемы плохой растворимости твердых удобрений при их внесении при посеве многие компании идут по пути создания микрогранул. Например, это присутствующие на украинском рынке удобрения Easy Start (немецкой компании Compo Expert), Physiostart (компании Timac Agro) и другие. Создание микрогранул (размером 0,5–1,5 мм) улучшает растворимость удобрения, его доступность для растения в начальный период, обеспечивает лучшую равномерность внесения. Больше количество гранул на единицу площади внесения способствует лучшему контакту корней с элементами питания. Как утверждают производители микрогранул, такая формуляция удобрений за счет повышения коэффициента использования элементов питания позволяет снизить нормы внесения, повышая также экономическую составляющую.

Для внекорневого внесения фосфора могут быть использованы монокалийфосфат, ЖКУ и целый ряд фосфорсодержащих листовых удобрений. Что касается последних, то количества содержащегося в них фосфора при рекомендованной норме внесения будет недостаточно для устранения дефицита фосфора в почве.

Также следует отметить, что присутствующие на рынке листовые удобрения, содержащие фосфор в виде не фосфата (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), а фосфит-иона (HPO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), являются скорее не источником макроэлемента, а стимулятором роста с протекторными свойствами против различных заболеваний.

Таким образом, успешный менеджмент фосфора должен базироваться на понимании процессов взаимодействия фосфора с почвой и требований выращиваемой культуры. Руководствуясь только экономическими возможностями закупки и внесения фосфорных удобрений и рассчитывая на фосфор почвы, можно значительно снизить эффективность других вносимых удобрений, нарушая оптимальное соотношение между элементами. 🌱