

АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 631.811.1:631.82

В.И. Макаров

К ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ КИСЛОТНОСТИ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Ключевые слова: азотные удобрения, сульфат аммония, аммиачная селитра, карбамид, кальциевая селитра, питание растений, физиологическая кислотность, физиологическая щелочность, биологическая кислотность, нитрификация, вымывание нитратов, коэффициент использования.

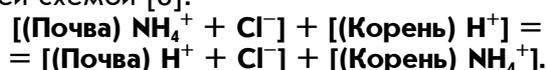
Известно, что применение минеральных удобрений может привести и к неблагоприятным экологическим последствиям для плодородия почвы – к существенному изменению их кислотно-щелочного состояния. Наиболее часто в научной и популярной литературе приводится понятие «физиологическая кислотность удобрений» [1, 2]. При внесении таких агрохимикатов подкисляется почва из-за преимущественного использования растениями катионов. Данный термин нашел отражение и в нормативных документах о требованиях к разработке новых агрохимикатов и проектированию систем применения удобрений [3].

В агрохимической литературе приводятся нормы внесения извести для предотвращения различных форм минеральных удобрений [1, 4]. В большинстве источников литературы подкисляющая способность минеральных удобрений приводится как норматив. Однако в разных публикациях эти значения могут несколько отличаться. Например, по рекомендациям ВИУА для нейтрализации 1 т карбамида следует использовать 0,80 т CaCO_3 [4], в то время как в «Справочнике агрохимика» [5] приводится другое значение – 1,2 т CaCO_3 /т удобрения. Было установлено, что аммоний удобрений при одинаковых дозах азота более сильно подкисляет почву, чем подщелачивают среду нитраты. Так, при использовании сульфата аммония на каждый килограмм азота требуется дополнительное внесения около 6 кг извести для нейтрализации образующихся кислот. В то же время подщелачивающая способность 1 кг азота кальциевой селитры равна всего 1,7 кг CaCO_3 [6].

Следовательно, теория подкисляющего действия минеральных удобрений связана не только с их физиологической кислотностью, а имеет более сложную природу.

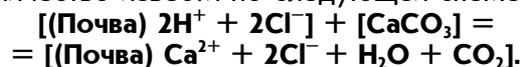
Целью работы является расчет потенциальной физиологической кислотности различных форм азотных удобрений и оценка других механизмов подкисляющего действия агрохимикатов.

Расчет теоретической физиологической кислотности минеральных удобрений. Механизм физиологической кислотности солей в системе «удобрение – растение» (на примере NH_4Cl) можно выразить следующей схемой [6]:



При питании растений происходит эквивалентный обмен ионов водорода на соответствующие катионы биогенных элементов – один моль H^+ , что соответствует 1 г H^+ , равен 18 г NH_4^+ (или 14 г N-NH_4^+). Исходя из этого, теоретическая физиологическая кислотность 1 г азота аммония составит 0,0714 г H^+ .

Для нейтрализации поступивших в почву ионов водорода понадобится эквивалентное количество извести по следующей схеме:



Соответственно 1 г ионов H^+ эквивалентен 20 г Ca^{2+} или 50 г CaCO_3 .

Исходя из данных реакций, можно рассчитать теоретическую физиологическую кислотность или щелочность различных солей в системе «удобрение – растение» для условий полного (100%) использования растениями азота из агрохимикатов. Однако эти расчеты затруднены даже для водных культур из-за того, что растения могут поглощать элементы питания из удобрений в виде катиона и аниона в различных пропорциях. Так, сульфат аммония, содержащий 20,8-21,0% N в форме NH_4^+ и 23-24% SO_3 в виде SO_4^{2-} , является источником как азотного, так и серного питания растений. При нормативе выноса зерновыми колосовыми

культурами азота 30-35 кгN/т зерна и серы около 4,2 кгSO₃/т соотношение между этими макроэлементами в выносе составит 7,1-8,3:1. Так, в процессе азотного питания растений при использовании 1 т сульфата аммония в почву поступит такое количество ионов водорода, для нейтрализации которых требуется внесения 750 кг извести (табл.). Однако при этом будет наблюдаться и потребление растениями из удобрения сульфатов, но только частично. Как результат, физиологическая кислотность удобрения снизится ориентировочно на 100 кг CaCO₃/т удобрения. Применительно к другим сельскохозяйственным культурам физиологическая кислотность сульфата аммония может отличаться из-за различного соотношения азота и серы в выносе данных элементов питания.

Соответственно, величина физиологической кислотности удобрений зависит не только от содержания в них азота в виде аммония или нитрата, но и сопутствующих ионов, содержащих биогенные элементы и участвующих в питании растений. Поэтому наличие серы в сульфате аммония снижает потенциальную физиологическую кислотность данного удобрения; присутствие кальция уменьшает величину физиологической щелочности кальциевой селитры.

Следует отметить, что аммиачная селитра в системе «удобрение – растение» при 100%-ном использовании азота растениями является теоретически физиологически нейтральным удобрением, так как катион и анион нитрата аммония будут участвовать в питании в одинаковых количествах.

При полном потреблении азота растениями карбамид также не должен подкислять окружающую среду. Под воздействием уреазы и при взаимодействии с диоксидом углерода мочевины в почве превращается в карбонат аммония [(NH₄⁺)₂CO₃]. По определению данное соединение является

физиологически кислым – ион водорода, появившийся в почве в результате питания растений аммонием, приводит к образованию угольной кислоты [2]. Однако она расщепляется на нейтральные соединения – молекулы воды и диоксид углерода.

Не должны подкислять почву безводный и водный аммиак – аммоний (в составе NH₄OH), участвующий в питании растений приведет к образованию воды.

Таким образом, величина рассчитанной физиологической кислотности азотных удобрений в значительной степени отличается от рекомендованных доз извести для устранения подкисляющего действия агрохимикатов. Так, по нашим расчетам, для нейтрализации кислот, образующихся при использовании 1 т сульфата аммония, требуется не более 0,65 т чистого карбоната кальция, а в рекомендациях приводится норматив 1,13 т CaCO₃/1 т удобрения, то есть на 51% больше.

Следует отметить, что в агроценозах питание сельскохозяйственных культур осуществляется в тройной системе «удобрение – почва – растение». Многочисленными исследованиями выявлено, что не происходит полного потребления растениями азота из удобрений. По нашим данным яровая пшеница, в зависимости от доз, способов внесения агрохимикатов, условий питания растений, использовала от 24 до 85% азота минеральных удобрений [7]. Другие исследователи приводят более широкие диапазоны коэффициентов использования азота удобрений сельскохозяйственными культурами – 2,6-90,7% [8]. Соответственно, потенциал физиологической кислотности удобрений в агроценозах используется только частично. Значит природа подкисляющего действия минеральных удобрений связана не только с питанием растений, но и другими процессами, которые происходят в промежуточном звене системы – почве.

Таблица

Теоретическая физиологическая кислотность некоторых азотных удобрений (при 100%-ном использовании растениями) применительно к зерновым культурам, кг CaCO₃/т удобрения

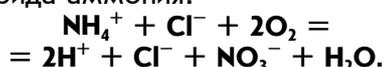
Удобрение и содержание азота, %	Ионная форма веществ, участвующих в питании растений	Физиологическая кислотность веществ			Рекомендуемые дозы CaCO ₃ для устранения подкисляющего действия удобрений**
		катиона вещества	аниона вещества	вещества в целом	
Сульфат аммония (21,0)	2NH ₄ ⁺ + SO ₄ ²⁻	750	-100	650	1130
Аммиачная селитра (34,6)	NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻	618	-618	0	740
Карбамид (46,0)	2NH ₄ ⁺ + CO ₃ ²⁻	1642	-1642	0	830
Аммиак безводный (82,2)	NH ₄ ⁺ + OH ⁻	2935	-2935	0	1470
Кальциевая селитра (17,5)	Ca ²⁺ + 2NO ₃ ⁻	83	-625*	-542	-300

Примечание. *Знак «минус» обозначает физиологическую щелочность удобрения; **среднее значение по нескольким публикациям [4, 5].

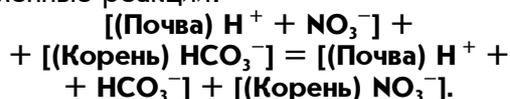
Другие механизмы подкисления почвы под воздействием азотных удобрений. Наиболее полно химизм действия минеральных удобрений на кислотные характеристики почвы охарактеризовал А.В. Петербургский в своей монографии «Агрохимия и физиология питания растений» [6]. Он выделил три механизма подкисления почв при использовании в земледелии минеральных удобрений – наряду с физиологической кислотностью выделил свободную и биологическую.

Свободная кислотность вызвана наличием примесей кислот в удобрениях. Так, согласно ГОСТ 9097-82 в сульфате аммония содержание свободной серной кислоты допускается до 0,03% [9]. По нашим данным кислотность 2%-ного водного раствора сульфата аммония составляет 4,62 ед. рН. Другие виды азотных удобрений не содержат в своем составе кислот в свободном состоянии. Кроме того, некоторые удобрения характеризуются гидролитической щелочностью, например, карбамид и аммиак при их взаимодействии с компонентами почвы [10].

Биологическая кислотность связана с окислением аммония до нитратов с участием микроорганизмов. Считается, что нитрификация происходит только в аэробных условиях в две фазы – сначала при окислении аммония формируется азотистая кислота, далее – азотная [1]. В качестве примера приводим суммарную реакцию нитрификации хлорида аммония:



Биохимическая кислотность солей приводит к подкислению почвы. Однако следует отметить, при этом NH_4^+ , который вызывал физиологическую кислотность соли, превращается в соединение физиологически щелочное – NO_3^- . При нитратном питании растений будут наблюдаться следующие обменные реакции:



В результате этого процесса биологическая кислотность солей снижается только частично. При 100%-ном поглощении растениями нитратного азота остаточная биологическая кислотность будет полностью соответствовать теоретической физиологической кислотности исходного удобрения.

Приведенные А.В. Петербургским механизмы подкисляющего (подщелачивающего) действия солей не объясняют фактически установленные экспериментальные данные изменения кислотно-щелочного состояния почвы под воздействием минеральных удобрений в опытах [6]. На наш взгляд, существует множество других процессов,

прямо или косвенно влияющих на физиологическую кислотность удобрений: вымывание нитратов, биологическая денитрификация, хемоденитрификация, иммобилизация азота микроорганизмами, вовлечение данного элемента в гумусовые соединения и др. [1, 8]. Эти обстоятельства объясняют несоответствие расчетных значений физиологической кислотности и фактических величин подкисляющего действия минеральных удобрений, приведенных в агрохимической литературе. Так, нитрификация азотного компонента удобрения и последующее вымывание нитратов из почвы могут привести к следующим результатам:

- подкисляющее действие аммонийных форм удобрений будет больше величины теоретической физиологической кислотности;
- формируется подкисляющее действие у аммонийно-нитратных, амидных и жидких аммиачных удобрений;
- подщелачивающее действие нитратных форм удобрений будет меньше величины теоретической физиологической щелочности.

Заключение

Таким образом, подкисляющее действие минеральных удобрений связано не только с питанием растений (физиологическая кислотность в системе «удобрение – растение»), но и с различными процессами, происходящими в почве с участием компонентов удобрений. Величина подкисляющего действия азотных удобрений может варьировать в широких пределах в зависимости от видовых особенностей сельскохозяйственных культур, эффективности использования азота агрохимикатов растениями, а также биологических, химических, физических процессов, происходящих в почве.

Библиографический список

1. Минеев В.Г. Агрохимия. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 486 с.
2. ГОСТ 20432-83 «Удобрения. Термины и определения».
3. ГОСТ 4.77-82 «Система показателей качества продукции. Удобрения минеральные. Номенклатура показателей».
4. Артюшин А.М., Державин Л.М. Краткий справочник по удобрениям. – М.: Колос, 1984. – 208 с.
5. Справочник агрохимика / под ред. Д.А. Коренькова. – М.: Россельхозиздат, 1980. – 286 с.
6. Петербургский А.В. Агрохимия и физиология питания растений. – М.: Россельхозиздат, 1971. – 333 с.
7. Макаров В.И., Красильников В.В. Эффективность локального удобрения при возделывании яровой пшеницы // Адаптив-

ные технологии в растениеводстве. – Ижевск: РИО ИжГСХА, 2005. – С. 115-121.

8. Сычев В.Г., Соколов О.А., Шмыряева Н.Я. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. – М.: ВНИИА, 2009. – Т. 1. – 424 с.

9. ГОСТ 9097-82 «Сульфат аммония Технические условия».

10. Агрономическая химия / под ред. А.Г. Шестакова. – М.: Сельхозгиз, 1954. – 432 с.



УДК 633.111:631.811.98

Т.В. Рогожина,
В.В. Рогожин

РОЛЬ ЩИТКА В ПРОРАСТАНИИ ЗЕРНОВОК ПШЕНИЦЫ

Ключевые слова: физиология растений, покой, зерна пшеницы, прорастание, эндосперм, зародыш, щиток, антиоксиданты, пероксидаза, алкогольдегидрогеназа, глюкозо-6-фосфат дегидрогеназа.

Введение

Зерновки злаковых культур после созревания и потери влаги находятся в состоянии вынужденного покоя [1]. Однако при наличии благоприятной температуры (18-25°C) и влажности 45-50% зерновки начинают активно прорастать. Период прорастания зерен пшеницы можно условно разделить на три этапа [2]:

1) набухание – продолжительность 18-24 ч; в это время происходит активное поглощение зерновками воды до их насыщения в 50-55%; по мере поступления воды в зерновках активизируются метаболические процессы, увеличивается дыхательная активность митохондрий, возрастает уровень перекисного окисления липидов;

2) проклевывание – в течение следующих 22-24 ч; в этот период активируются процессы синтеза белков и метаболическая активность ферментов, происходят увеличение размеров и растяжение клеток;

3) прорастание – в течение 5-7 сут.; период, когда активируются процессы синтеза нуклеиновых кислот, иницируются процессы деления и роста клеток, формируются побег и корневая система, происходит рост проростка.

В период прорастания наблюдается истощение эндосперма зерновок, понижается их масса. Проросток быстро растет, происходит удлинение побега и корней, и каждый проросток имеет свой индивидуальный темп развития [2]. До активизации фотосинтетической активности первых листьев снабжение проростка питательными веществами осуществляется за счет биогенных соединений эндосперма. Последний представлен клетками, содержащими запасные пита-

тельные и функционально активные вещества, в частности, ауксины, гиббереллины, цитокинины и другие регуляторы роста [3]. Деление клеток зародыша обеспечивает формирование различных органов растения, тогда как основной функцией щитка (скутеллума) является осуществление связи между эндоспермом и всеми структурами зародыша, посредством специализированного эпителиального слоя, в котором имеется большое количество ферментов и происходят изменения в составе веществ, поступающих из эндосперма в зародыш, а в дальнейшем – в проросток.

Биогенные молекулы поступают в проросток через щиток, который выполняет многообразные функции, специфичность которых зависит от состояния зерновок и их развития [4]. Так, в период вынужденного покоя щиток обеспечивает питание зародыша и поддерживает его функционирование. Секретируемые щитком ферменты катализируют реакции гидролиза биополимеров эндосперма и за счет этого снабжают зародыш питательными веществами. Особое значение в этот период имеет антиоксидантная система (АОС), активность которой позволяет осуществлять контроль за содержанием свободных радикалов, в том числе и активных форм кислорода. Основными компонентами АОС являются низко- и высокомолекулярные антиоксиданты (АО). Эта функция щитка приобретает еще большее значение при поступлении в зерновки воды.

Следует особо отметить действие оксидоредуктаз, в частности пероксидазы, которая как компонент АОС способствует снижению как уровня перекиси водорода, так и токсичных неорганических и органических веществ, выполняя дезинтоксикационную функцию [5]. В период набухания и проклевывания пероксидаза может участвовать в иницировании активности митохондрий. Содержание фермента коррелирует с возрастом процесса окислительного