

631.84

ТТ 859 к. 8

364305

ПРЯНИШНИКОВ, Д. Н.

К ВОПРОСАМ О СРАВНЕНИИ
НОМ ИСПОЛЪЗОВАНИИ
АММИАКА И НИТРАТОВ
ВЫЩИЩИ РАСТЕНИЮЩИ

М - 1923.

Ботан. Общ. т. 8. (1923). 1925.
Soc. Bot. de Russie T. 8. (1923). 1925.

Отд. Отт. из журн.
Изд. Русск. Ботан.

Белорусского
Библиотека
Отд. 631.84
Шифр Т. 859 к. 6.
Инв. № 364305

Д. Н. ПРЯНИШНИКОВ. К вопросу о сравнительном использовании аммиака и нитратов высшими растениями.

(Получена 5 мая 1923 г.)

Начиная с 1900 года при наших опытах в песчаных культурах, мы постоянно наблюдали, что азотнокислый аммоний ведет себя как соль физиологически кислая; так, например, в его присутствии трудно растворимые фосфаты становятся доступными растениям, неспособным использовать фосфорит. Первые наблюдения над растворяющим влиянием NH_4NO_3 на фосфаты, реализующимся при участии корней растения, дали нам повод высказать следующие возможные объяснения этого факта:

- I. Азотнокислый аммоний подвергается частичной нитрификации, ¹⁾ благодаря чему возможно создание кислой среды даже в том случае, если бы эта соль сама по себе была физиологически щелочной.
- II. Азотнокислый аммоний является солью физиологически нейтральной, поэтому он не мешает растворяющему воздействию корневых выделений, в отличие от NaNO_3 и $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.
- III. Азотнокислый аммоний оказывает прямое растворяющее воздействие на фосфорит, независимое от усвояющей деятельности растения.
- IV. NH_4NO_3 может являться, вопреки ожиданиям, солью тоже физиологически кислой, не с столь резко выраженной кислотностью, как сернокислый аммоний; или же, наконец:
- V. NH_4NO_3 не имеет постоянной определенной физиологической характеристики, но является как бы солью амфотерной в том смысле, что, смотря по условиям окружающей среды, растение может брать из нее или больше основания, или больше кислоты, или потреблять равномерно то и другое, делая таким образом эту соль регулятором реакции среды.

Последующие опыты позволили отвергнуть одно за другим первые три предположения; так, опыты в стерильных культурах обнаружили такое же растворяющее действие NH_4NO_3 на фосфорит, какое наблюдалось и без стерилизации ²⁾.

Что касается допущения пассивной роли NH_4NO_3 в отличие от $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, мешающего своей физиологической щелочностью действию корневых выделений, то его неприемлемость была установлена опытами И. С. Шулова, ³⁾

¹⁾ Здесь имеются в виду культуры в песке, промытом кислотой; но все же за сение бактерий возможно.
²⁾ Журн. Оп. Agr., 1904; см. также наш IV-й отчет, I. с., стр. 9.
³⁾ Журн. Оп. Agr., 1902.

№, 1923

К

проведенными по методу разделения корней; при этом обнаружилось, что только при условии непосредственного соприкосновения NH_4NO_3 с фосфоритом (и с корнями растений) проявляется растворяющее действие этой соли, что видно из следующего примера:

	В общем сосуде.	В общем сосуде.	В разных сосудах.
Источник P:	Фосфорит.	Фосфорит.	Фосфорит.
Источник N:	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	NH_4NO_3	NH_4NO_3
Вес растений:	1,75 г	15,10 г	2,10 г

Третье предположение также не подтвердилось при прямых опытах извлечения P_2O_5 из фосфоритов при настаивании с раствором NH_4NO_3 ; таким образом остались неисключенными только 4-я и 5-я версии. Возможность признания NH_4NO_3 физиологически-кислой солью (хотя бы факультативно) основывалась тогда на известных нам данных опытов Коссовича 1897 г. ¹⁾, показавших, что растения в стерильных культурах очень хорошо используют аммиак из $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, если устраняется кислотность раствора, протекающая от избытка остающейся серной кислоты; в известных случаях растения усвоили даже больше азота из $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, чем из нитратов; вскоре затем Мазé констатировал также возможность большего поступления аммиака, чем нитратов, при одновременном введении в питательную смесь боих источников азота ²⁾.

Далее, изучение азотистого обмена веществ в растениях (Шульце, Прянишников, Merlis, Буткевич) привело к совершенно определенному результату относительно способности растения беспрепятственно перерабатывать аммиак в органические азотистые соединения: оказалось, что аммиак постоянно образуется в растении при распадении белков, но тотчас обезвреживается путем превращения в амидные соединения; именно так образуются в растениях аспарагин и глютамин, являющиеся результатом вторичного синтеза из аммиака и некоторого остатка от окисления углеводов.

Дальнейшие наши опыты (1909 и след. годы) показали, что, если не мешает физиологическая кислотность, то и извне введенный аммиак также превращается проростками в группы NH_2 , причем половина приходится на аминную, половина на амидную группу, т. е. образуются тела формулы $\text{R}(\text{NH}_2)\text{CONH}_2$, под которую подходят как раз выше названные амиды, аспарагин и глютамин.

В этой серии опытов мы опять встретились с фактами, говорящими за лучшее использование аммиака, чем нитратов, если побочные влияния (кислая реакция среды) устранены.

Вот пример из опытов с *Vicia sativa*.

	$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{CaCO}_3$	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	Вода.
Всего N на 100 р.	263,0 м	247,6	221,0
N аспарагина	118,2 "	93,3	75,9

В опытах с кукурузой разница в пользу аммиака оказалась еще большей.

	I $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{CaCO}_3$	II $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	III Дистилл. вода.
N аспарагина на 100 р.	269,5	160,7	104,5 м
Разность против III	165,0	56,2	—
N органич. вещества	935,1	844,6	755,6
Прирост против III	179,5	89,0	—

¹⁾ Опубликованы в 1902 г. (Журн. Оп. Agr.).

²⁾ Annales Institut Pasteur, 1900.

Из цифр видно, что питание аммиачной солью в присутствии CaCO_3 вызвало громадный прирост аспарагина: содержание его в $2\frac{1}{2}$ раза превышает соответствующую величину для контрольных растений; при питании $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ образование аспарагина также имело место, но содержание его достигло лишь $1\frac{1}{2}$ -ой нормы по сравнению с контрольными растениями. Так как мы имеем дело с рядом параллельно идущих процессов, как образование аспарагина за счет азота разного происхождения (азот извне введенный и азот аминокислот), распад и образование аминокислот, превращение белков, которые идут неодинаково в сравниваемых рядах, то наилучшей меркой участия аммиака и нитратов в синтезе будет общий прирост азота в органическом веществе. В данном случае суммарный прирост азота в органических соединениях, который учтен путем вычитания содержания азота нитратного и аммиачного из количества азота общего, оказался вдвое выше при аммиачном питании, чем при нитратном. При продолжении опыта до 17 дней сохранилась и даже усилилась та же тенденция, а именно:

	$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{CaCO}_3$	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	Вода.
N аспарагина на 100 ростков	345,0	158,6	129,4
Сумма орг. вещества	963,8	803,5	706,1
Прирост его	257,7	97,4	—

Синтез за счет аммиака шел гораздо энергичнее, чем за счет нитратов как и в предыдущих случаях. Этот факт более энергичного образования аспарагина за счет аммиака по сравнению с нитратами у этиолированных проростков можно конечно сближать с тем обстоятельством, что вообще бесхлорофильные организмы хуже используют нитраты, в отличие от зеленых растений. Вполне естественно, конечно, что бесхлорофильные организмы более приспособлены к использованию аммиака, как не требующего затрат энергии на предварительное восстановление для образования группы NH_2 ¹⁾. Но из того, что зеленые растения лучше используют нитраты, чем бесхлорофильные, не вытекает, что для аммиака дело обстоит обратно. Как мы видели, обилие углеводов есть условие, благоприятствующее использованию аммиака растениями, а зеленое растение, конечно, богаче углеводами, чем этиолированное; углеводов, конечно, нужно еще больше для использования нитратов, ибо здесь требуется расход материала на восстановление от N_2O_5 через N_2O_3 до NH_3 (или NH_2); поэтому-то у ассимилирующего растения, богатого углеводами, различие между двумя этими источниками азота более сглажено, чем у бесхлорофильных организмов.

Но помимо априорных соображений, как мы уже видели, для ассимилирующих растений имеются и факты более быстрого усвоения аммиака, чем нитратов; к приведенным ранее данным мы можем добавить данные Шулова, наблюдавшего в стерильных культурах большее усвоение аммиака молодыми растениями кукурузы: с возрастом эти отношения выравнивались и далее наступал некоторый перевес в потреблении азотной кислоты ²⁾.

В согласии с этим стоят данные одного опыта последнего времени (1923), в котором определялась концентрация ионов водорода по Søren-

¹⁾ Как раз в недавней работе С. П. Костычева было доказано, что плесневые грибы, образующие в качестве промежуточных продуктов при синтезе аминокислот за счет нитратов—нитриты и аммиак, требуют наличности глюкозы для образования аммиака. (Zs. physiol. Chemie, 111 (1920).)

²⁾ Исследования в области физиологии питания etc. 1913 (приложение к VIII отчету о вегетационных опытах).

sen'y в растворах NH_4NO_3 до и после 10-дневного роста на них этиолированных ростков кукурузы; из этого опыта (проведенного К. М. Прянишниковой) приведем здесь только следующие цифры:

	В исходных растворах ¹⁾	После опыта.
pH:	6,8 — 7,0	3,7 — 4,1

т. е. ростки кукурузы относились к NH_4NO_3 , как к соли физиологически кислой.

Кроме того у нас были еще раньше поставлены разведочные опыты относительно влияния кислот на использование NH_4NO_3 ; эти незаконченные опыты все же показали, что поступление NH_4 и N_2O_5 в различных случаях происходит с разной энергией и влияние реакции среды заметно.

Так в опытах И. И. Малахова (1917 г.) 10-дневные проростки ячменя поглотили следующие количества азота аммиачного и нитратного из NH_4NO_3 в зависимости от возрастающей кислотности среды (созданной введением H_3PO_4), по расчету на 100 ростков.*

	I	II	III	IV	V	десяти- тысячных от нормальн.
Концентрация H_3PO_4	0	1	5	10	15	
Азот аммиачный	51,0	64,0	60,0	59,7	50,0	
„ нитратный	32,0	26,0	26,7	29,0	33,0	

Здесь проявилось вообще большее поступление аммиака, чем нитратов, но, начиная от II случая к V, относительно падает поступление аммиака и растет поступление N_2O_5 .

В другом опыте с ячменем, проведенном Н. В. Вильямсом (1919 г.), раствор NH_4NO_3 подкислялся введением HCl ; здесь получились такие величины:

	I	II	III	IV
Азот аммиачный	22,5	18,4	13,4	11,0
„ N_2O_5	19,3	18,9	15,6	15,1

Здесь кислотность среды вызывала общую депрессию роста, а в связи с этим и поступления питательных веществ; но при нейтральной реакции поступление аммиака брало верх, при увеличении же кислотности перевес переходил на сторону нитратов²⁾.

¹⁾ Бралась растворы различной концентрации, от $\frac{1}{2}$ до 2 тысячных от нормально

²⁾ Такой же опыт с горохом оказался неудачным в том смысле, что при более сильном подкислении (также HCl) раствора горох не поглощал, а выделял аммиак в раствор, очевидно вследствие прекращения синтеза аспарагина; это напоминает явление у люпина при выделении NH_4Cl или $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

На съезде ботаников в Ленинграде 1921 г. доложена была работа Д. А. Сабина, касающаяся того же вопроса; так как здесь наблюдалось поступление веществ за очень короткие сроки, то тем было избегнуто осложняющее влияние реакции среды на рост растения и потребление веществ с ним связанное, поэтому для изучения самого поступления условия были более благоприятны.

Первым следствием погружения корневой системы в раствор, содержащий ионы NH_4 и NO_3 , являлось понижение концентрации вследствие адсорбции, при более длительном пребывании (3—20 часов) проростков пшеницы в растворах, вслед за первоначальной адсорбцией идет медленно протекающее поглощение. При этом подкисление среды вызывало уменьшение поступления NH_4 и увеличение поступления NO_3 , а подщелачивание действовало в обратном смысле. Таким образом наше предположение, что NH_4NO_3 является солью „физиологически-амфотерной“, нашло повидимому подтверждение при такой постановке опытов.

Совокупность имеющихся фактов заставляет думать, что если устранены побочные причины, как физиологическая кислотность NH_4Cl , или прямая щелочность $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, то аммиак является наиболее удобной формой для синтеза органических соединений; а если же в природе условия наилучшего развития высших растений связаны с энергичной нитрификацией и если в земледельческой культуре получают наибольшие урожаи, приведа пахотный слой почвы в состояние, подобное „селитряным буртам“ (паровое поле), то здесь только осуществляется типичный случай „Cum hoc, non propter hoc“: все, что благоприятствует нитрификации, благоприятствует росту высших растений, а отсутствие нитрификации или преобладание аммонизации обозначает недостаток аэрации, кислую реакцию среды, и только поэтому связано с плохим развитием растений.

Сказанное не противоречит, конечно, тому обстоятельству, что растения могут переносить аммиак лишь в слабых растворах, не имеющих резко кислой или тем более щелочной реакции (как не противоречит лживость формальдегида признанию основной его роли в процессе ассимиляции). Но во всяком случае мы не можем согласиться с мнением, будто в $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ аммиак является более вредной для растения составной частью, чем серная кислота¹⁾; если бы это было так, то ведь не удалось бы Коссовичу и Мазе превратить эту соль введением основания (CaCO_3 или $\text{Fe}_2(\text{OH})_6$ в источник азота, успешно конкурирующий с нитратами²⁾.

Для дальнейшего уяснения этого вопроса у нас были предприняты опыты выращивания растений в сменных растворах $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Исходная мысль при этом такова: если бы вредное влияние этой соли зависело в первую очередь от аммиака, то смена растворов не может ослабить этого вреда; если же вредит больше всего остающаяся в растворе H_2SO_4 , то этот прием должен улучшить развитие растений.

Предварительный опыт культуры на свету в сменных растворах был поставлен еще в 1918 г. Е. В. Бойко и О. Н. Соколовой, с горохом и ячменем; при этом на росте растений обнаружилось значительное влияние смены растворов; так для ячменя получились такие цифры урожаев по $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

	Без смены.	При смене растворов.
1	1,66	9,39 „
2	1,61	8,70 „

Для гороха фотографический снимок обнаруживает еще более резкое положительное влияние смены раствора, производившейся два раза в неделю.

Так как в то время не учитывалась непосредственно реакция растворов, то истекшим летом (1922 г.) опыты были повторены с определением концентрации ионов водорода по Зёренсену. При этом обнаружилось, что

¹⁾ Г. Г. Петров. Об усвоении азота высшими растениями, 1917 г.

²⁾ Тот факт, что не при всякой постановке нейтрализации, произведенной по теоретическому расчету, она вполне обезвреживает $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, может зависеть от трудности распределить CaCO_3 так, чтобы в действительности образующаяся кислота тотчас встречалась с соответственным количеством CaCO_3 . Это относится прежде всего к песчаным культурам и для водных культур предстоит выяснить, не вредит ли смесь $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3$ растениям своей слабо щелочной реакцией, если CaCO_3 дается раньше, чем растения своей деятельностью создали кислую реакцию (см. ниже во 2-й половине сообщения данные по влиянию реакции среды на рост растений).

растение чрезвычайно быстро нарушает реакцию поглощением аммония, при чем по достижении известного предела кислотности дальнейший сдвиг почти прекращается.

Таким образом, смена раствора, даже ежедневная, не может до конца устранить влияние физической кислотности, она только смягчает неблагоприятное влияние (культура в текучем растворе способна дать еще лучшие результаты в этом отношении). Но все же некоторые указания дают и культуры растений в сменных растворах; здесь отчасти (в опыте П. Р. Купреенко) применялась изоляция источника азота и смена раствора только в соответственном (малом) сосуде; развитие растений в этом случае шло гораздо лучше при смене раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, чем без смены; для NaNO_3 соответственное различие также наблюдалось, но далеко не в той мере, как это видно из следующих урожайных данных для ячменя:

Источник азота	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	NaNO_3
Без смены раствора	1,67	6,17
При смене	7,18	10,43

О размере сдвига реакции и быстроте наступления этого сдвига дает представление следующая выписка из дневника по этому опыту:

Величины рН (по калориметрическому измерению):

Исходный раствор	Найдено при смене раствора вместо 6,2:										
31-го июля ¹⁾ .	А В Г У С Т.										
	3-го	5-го	7-го	9-го	11-го	12-го	14-го	16-го	18-го	20-го	22-го
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	3,3	3,5	3,6	3,9	3,5	3,9	3,3	3,6	3,6	3,6	3,6
NaNO_3	6,9	6,9	6,9	6,8	6,8	6,6	6,9	6,6	6,8	6,8	6,9

Отсюда видно, что даже при смене через сутки (11—12 авг.) растение понижало величину рН с 6,2 до 3,9, если в качестве источника азота ему предлагается $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; дальше процесс этот задерживается и даже в бессменном растворе ниже 3,3 величина рН не опускается—у этого предела очевидно задерживается рост корней и возможность нормального усвоения азота из этой смеси (для NaNO_3 в бессменном растворе рН равнялась 7,3, вместо исходной величины в 6,2).

Таким образом, растения, чрезвычайно быстро поглощая аммиак, создают кислую реакцию среды, быстро достигающую крайнего предела, за которым рост корней останавливается; культура в сменных растворах в значительной мере смягчает этот вред.

Кроме нейтрализации и смены растворов, возможно еще получить данные для суждения о влиянии кислоты, сопровождающей аммиак, путем сравнения того влияния на рост, какое оказывают разные соли аммония; уже в прежних опытах (см. данные А. Г. Николаевой и А. И. Смирнова IX и X т.) обнаружилось, что по отношению к разным солям аммония растения ведут себя различно в смысле разного накопления аспарагина—отрицательное влияние кислот при этом сказывается с ясностью; в позднейших наших опытах по влиянию эквивалентных растворов разных солей аммония на

¹⁾ При каждой смене раствора величина рН возвращалась к 6,2; поэтому, если напр., 14 авг. найдено 3,3, то значит за двое суток изменение рН составляет 6,2—3,3, или 2,9.

рост также наблюдалось, что, напр., $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ совершенно не задерживает роста при той концентрации, при которой эквивалентное количество NH_4Cl оказывает ясное подавляющее влияние.

Представление о специфической вредности аммиака более всего базируется на опытах Бокорни¹⁾, который наблюдал резкий вред NH_4OH даже в весьма слабых растворах для молодых ростков различных растений (притом даже более сильный, чем от NaOH); но надо заметить, что тот же автор приводит данные относительно углекислого аммиака, как соли не вредящей прорастанию при концентрации 0,1%. В наших опытах наблюдалось гораздо более благоприятное отношение ростков к карбамиду, чем к хлористому аммоний (при равных количествах азота), а так как карбамид в растении превращается в углекислый аммоний, то в этом отчасти можно видеть подтверждение опытов Бокорни²⁾.

Из описания опытов видно, что они носили разведочный характер и результаты их должны приниматься лишь как приблизительные указания.

Из нижеизложенного будет видно, что, несмотря на всю приблизительность данных Бокорни, им верно было подмечено, что углекислый аммоний может быть при известных концентрациях менее вреден, чем соли аммония с сильными кислотами; что же касается большой ядовитости NH_4OH по сравнению с NaOH и KOH , то этот факт тоже верен, но он имеет мало отношения к явлениям, происходящим в живой клетке.

Нужно еще заметить, что в опытах с едкими щелочами, подобных произведенным Бокорни, вред мог сказываться с разной степенью рельефности в зависимости от двух причин: 1) того или иного отношения плазмы к данному веществу; 2) быстроты проникновения данного вещества внутрь клетки. Как раз аммиак способен гораздо скорее поступать в клетку, чем эквивалентные растворы KOH или NaOH ; это может быть продемонстрировано данными, полученными в нашей лаборатории М. К. Домонтовичем следующим путем: если брать тонкие срезы окрашенных в красный цвет тканей и помещать их в растворы NH_4OH , KOH и NaOH , то можно по переходу окраски антоциана в синюю (или фиолетовую) судить о скорости проникновения того или иного основания в клетку; при этом совершенно определенно обнаруживается наибольшая скорость проникновения аммиака, как видно из следующих примеров:

Время, необходимое для изменения окраски из красной в фиолетовую (синюю) (см. табл. на след. стр.).

Если аммиак во всех случаях скорее проникал в клетку, чем NaOH и KOH , скорее вызывал переход окраски антоциана, соответствующей кислой реакции, в окраску, соответствующую щелочной реакции, то при дальнейшем воздействии на клетки едкие щелочи иногда обнаруживали более резкое действие, чем аммиак, именно на растворах NaOH и KOH нередко наступало полное обезцвечивание клеток, в то время как клетки NH_4OH еще сохраняли фиолетовую или темносинюю окраску.

¹⁾ Cbl. f. Bakter. II, 32 (1912).

²⁾ См., напр., данные А. И. Смирнова (IX том „Вегетационных опытов“, стр. 475 и 483), из которых видны следующие различия в длине ростков ячменя:

	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	NH_4Cl
I-й опыт	24,6	18,6 см
II-й „	22,0	16,3 „

Что касается опытов с углекислым аммонием, то и в этом случае нужно различать вред щелочной реакции от вреда аммиака, как такового; в виду неопределенности состава „углекислого аммония“, употреблявшегося Бо корни (и др. авторами), мы повторили эти опыты, приготовляя двууглекислый ам-

Объекты.	NH ₄ OH 0,01 п.	KOH 0,01 п.	NaOH 0,01 п.
1. Корни красной свеклы	1—10 сек.	> 10 мин.	
2. Эпидермис черешков <i>Lupinus angustifolius</i>	1—10 „		1/2 часа
3. „ „ <i>Aegopodium podagraria</i>	1—10 „	> 10 „	
4. „ „ <i>Fragaria vesca</i>	1—10 „		> 15 мин.
5. „ стебля <i>Racoma</i>	1—10 „	> 15 „	
6. „ черешков <i>Acer platanoides</i>	< 1 мин.	> 10 „	
7. Лепестки <i>Amygdalus</i> ¹⁾	1/2 часа.	> 1 часа	

моний (кристаллизация в токе CO₂) и кроме того испытывая смягчающее влияние на щелочность углекислоты, дополнительно пропускаемой в питательную смесь перед посадкой ростков; вот некоторые данные предварительных опытов, проведенных К. М. Прянишниковой с ростками гороха:

Аммиак дан в виде:	NH ₄ Cl	NH ₄ H ₂ PO ₄	NH ₄ HCO ₃ (0,001)
Средний прирост корней:	1,85	1,83	2,83 см

Таким образом, двууглекислый аммоний при этой концентрации дал больший прирост, чем хлористый и даже фосфорнокислый аммоний.

Дополнительное пропускание CO₂ в раствор было испытано в другом ряде с концентрацией в 0,005 норм; прирост корней был таков:

pH	NH ₄ HCO ₃	То же + CO ₂
Прирост корней	7,3 0,48	6,8 1,43 см

При продолжении опытов З. В. Логвиновой получилось полное подтверждение этих результатов; приведем здесь только следующие данные прироста стеблей и корней ростков гороха при более продолжительном опыте (12 дней).

Концентрация.	Прирост стеблей.			Прирост корней.		
	0,001	0,003	0,01	0,001	0,003	0,01
NH ₄ HCO ₃ + CO ₂	9,7	5,8	5,5	10,6	7,5	5,7
NH ₄ HCO ₃	5,8	5,0	4,5	8,0	6,6	3,7
NH ₄ H ₂ PO ₄	5,0	5,1	5,2	9,2	8,4	6,6
NH ₄ Cl	4,1	4,1	4,1	7,6	7,4	3,8
Дист. вода	4,3			8,1		

Таким образом, двууглекислый аммоний, при поддержании реакции близкой к нейтральной (pH = 6,8) путем дополнительного пропускания углекислоты, оказывается наилучшей формой доставления аммиака растениям, так как он не оставляет избытка сильной кислоты ни в окружающем растворе, при поступлении аммиака, ни внутри растения (ибо избытки минеральных кислот вредят не пропорционально влиянию их на реакцию окружающей среды, к этому присоединяется еще влияние пригодности или непригодности поступающей в растения части кислоты для целей питания).

¹⁾ Целые лепестки, инъецированные водой путем помещения в вакуум.

Факт более благоприятного отношения растения к аммиаку, при условии усреднения реакции углекислотой, нежели при связывании аммиака соляной или серной кислотами, прекрасно гармонирует с аналогичными наблюдениями над печенью в животном организме: имеются опыты, показывающие, что при введении NH₄Cl или (NH₄)₂SO₄ синтез мочевины подавляется и в выделениях может оказаться больше аммиака, чем его было введено извне ¹⁾, что совершенно отвечает явлениям нами описанным ранее для ростков люпина; в то же время двууглекислый (resp. карбаминовокислый) аммоний прекрасно используется для синтеза мочевины.

Вся совокупность сообщенных фактов стоит в согласии с ранее нами выставленным положением, по которому аммиак есть альфа и омега, начало и конец обмена азотистых веществ в растениях.

PRJANISCHNIKOW, D., Prof. Nitrate und Ammoniaksalze als Stickstoffquellen für höhere Pflanzen.

Bei Versuchen mit Ammoniaksalzen stösst man immer auf einen Umstand, der dem Vergleiche von Ammoniak und Nitratstickstoff auf dem Wege steht, nämlich den unterdrückenden Einfluss der Säuren die man mit Ammoniak einführt; derselbe ist schärfer ausgeprägt als der Einfluss der Basen, die nach der Aufnahme von Nitrat—N in der Lösung übrig bleiben, da z. B. das Natrium aus NaNO₃ nicht als NaOH zurückbleibt, sondern durch Kohlensäure in Bikarbonat umgewandelt wird, während der Wirkung der Schwefelsäure, die beim Ausnutzen von (NH₄)₂SO₄ frei wird, die Pflanze nichts entschädigendes gegenüberzustellen vermag.

Dass die einfache „Neutralisation“ der Lösung von (NH₄)₂SO₄ durch CaCO₃ nicht immer gute Dienste leistet, ist meist dadurch zu erklären, dass man damit zuerst alkalische Reaktion der Lösung hervorruft, die ihren negativen Einfluss auf die Pflanze ausübt in einem Stadium, wo die alkalische Reaktion der Nitratlösung noch gar nicht zum Vorschein kommt (besonders wenn die Nährlösung KH₂PO₄ enthält).

In Verf's Laboratorium wurde eine andere Methode den schädlichen Einfluss der zurückbleibenden Säure zu beseitigen geprüft, nämlich das Wechseln der Nährlösung; es erwies sich jedoch, dass die Pflanzen sehr rasch (sogar in 24 Stunden, wenn der Umfang des Gefässes nicht gross genug ist) die Lösung von (NH₄)₂SO₄ zu sauer machen. Bessere Resultate wurden auf folgendem Wege erreicht: 1) Ersatz der starken Säuren die das Ammoniak begleiten durch möglichst schwache, Kohlensäure inklusiv; 2) Vergleich der Aufnahme von Ammoniak und der Salpetersäure aus (NH₄)NO₃.

Bei den Versuchen mit kohlensaurem Ammoniak fusste Verfasser auf der Analogie des Verhaltens gegen Ammoniaksalze der Lupinen und anderer Kohlenhydratarmer Keimlinge einerseits und dem Tierorganismus andererseits. So ist z. B. der Einfluss solcher Salze wie NH₄Cl auf die Harnstoffsynthese in den Nieren und auf die Asparaginsynthese in Lupinen-Keimlingen sogar in Einzelheiten zusammenfallend (s. darüber Verfasser's Aufsatz in den Ber. d. D. Bot. Ges. 41, 1922, S. 248).

¹⁾ Rumpf u. Kleine. Zeitschrift für Biologie, 34.

30

Auf diese Analogie sich stützend, hielt der Verfasser für unwahrscheinlich, dass das Verhalten tierischer und pflanzlicher Zellen gegen Ammoniumcarbonat so prinzipiell verschieden sein könnte, wie es gewöhnlich geschildert wird; eher könnte man voraussetzen, dass die Schlussfolgerungen über die Schädlichkeit von Ammoniak als solchem, die aus den Versuchen mit Ammoniumcarbonat gezogen werden, auf die alkalische Reaktion des letzteren zurück zu führen sei. Man findet wirklich dass in den Arbeiten von Coupin, Bokorny und anderer Forscher das käufliche Präparat von Ammoniumcarbonat gebraucht wurde. Darum hat Verf. diese Versuche wiederholt, aber, um die alkalische Reaktion zu vermeiden, wurde das gewöhnliche Ammoniumcarbonat unter Sättigung der warmen Lösung mit Kohlensäure umkristallisiert und das erhaltene Bicarbonat als N—quelle für die Keimlinge benutzt. Die Resultate waren günstig, aber noch günstiger fallen sie aus, wenn man der Lösung von Bicarbonat noch etwas Kohlensäure zufügt, um die Reaction der Lösung 6,8—7,0 pH entsprechen. Dabei erwies sich, dass NH_4HCO_3 in schwachen Lösungen sogar eine bessere N—quelle sei, als $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (NH_4Cl steht noch niedriger).

Die Versuche mit NH_4HCO_3 sind noch von dem Standpunkte interessant, dass sie gestatten das Verhalten der Pflanzen gegen Nitrate und Ammoniak zu vergleichen, ohne mit Ammoniak starke Säuren einzuführen, welche das Wachstum der Pflanzen unterdrücken. In Vorversuchen wurde das gleiche Wachstum von Erbsenkeimlingen beobachtet, wenn man in eine Lösung $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ und in die andere NH_4HCO_3 und CaCO_3 (oder CaSO_4) einführte und von der Neutralität der Lösung Sorge nahm. Weiter muss die Energie der Asparaginbildung in den etiolierten Keimlingen für beide Fälle verglichen werden und dann entsprechende Versuche auch mit assimilierenden Pflanzen angestellt werden; da aber Verf. schon früher eine energischere Bildung von Asparagin im Dunkeln bei der Ernährung mit $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3$ als im Falle von $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, beobachtet hat, so kann man erwarten, dass auch der Vergleich von $\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{CaSO}_4$ einerseits und $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ andererseits dieselben Resultate liefern muss, wenn man die Neutralität beider Lösungen besorgt.

Was die Versuche mit NH_4NO_3 betrifft, so wollen wir hier nur zwei wichtige Tatsachen erwähnen: 1) die Pflanzen machen die Lösung von NH_4NO_3 sauer; man findet für die Keimlinge nach 10 Tagen eine Verschiebung der Reaction von 6,8—7,0 pH (in verschiedenen Versuchen) bis 3,7—4,0 pH. Stärker entwickelte Pflanzen von Hafer und Gerste ändern merklich die Reaction der Lösung schon nach 2 Stunden (z. B. bis 5,5 pH statt 6,4); 2) Es wird von NH_4NO_3 viel rascher NH_3 aufgenommen, als HNO_3 .

Es erwies sich also, dass Ammoniak eigentlich eine bessere Stickstoffquelle für höhere Pflanzen sei, als Salpetersäure, wenn man mit neutralen Lösungen und passenden Konzentrationen arbeitet; im Falle von Ammoniaksalze braucht doch die Regulierung der Reaction der Nährlösung mehr Aufmerksamkeit, als wenn man mit Nitraten experimentiert, die Konzentrationsverhältnisse können den negativen Einfluss der Reactionsveränderungen noch mehr verschärfen.

