

УДК 581.133.1

## ВЛИЯНИЕ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ, ФОРМ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ И КОНЦЕНТРАЦИИ ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА НА РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

С. САЛТИ, А. Е. ПЕТРОВ-СПИРИДОНОВ

(Кафедра физиологии растений)

Оптимальные комбинации внешних условий для полноценного использования аммиачных форм азотных удобрений растениями теоретически были обоснованы Д. Н. Прянишниковым, его учениками и последователями [1, 2, 3, 5, 7]. Дальнейшее изучение поглощения разных форм азотных удобрений, нитратных и аммиачных, в первую очередь шло в направлении более детального исследования действия сопровождающих  $N - NH_4$  и  $N - NO_3$  катионов, особенно калия и кальция [8, 9, 20 и др.].

Установлено положительное действие калия на поглощение нитратов. Ряд авторов утверждают, что не только калий, но и кальций стимулирует поглощение нитратов [10, 17, 18]. Однако другие исследователи отрицают последнее положение [14, 15]. Признано благоприятное действие кальция на поглощение аммония [2, 7, 8, 20], но и по этому поводу имеются возражения [12].

Вполне вероятно, что противоречивость данных о действии калия и кальция на поглощение  $N - NH_4$  и  $N - NO_3$  форм азотных удобрений объясняется различиями условий, в которых проводились эксперименты. Так, имеются данные [4], что направленность действия калия и кальция на поглощение нитратов и аммония зависит как от концентрации и соотношения между ними, так и от концентрации азотных удобрений. Установлено также, что повреждаемость растений при внесении аммонийных удобрений в большей степени зависит от того, насколько подавлено аккумулятивное действие катионов в растительных тканях [13]. Сложность проблемы взаимоотношения ионов возрастает в связи с индивидуальными особенностями самих растений. Кроме того, несомненно, что изменения в катионном составе тканей растений не могут не отразиться на водном режиме.

Растения при аммонийном питании за вегетацию поглощают воды меньше, но испаряют ее больше, чем при нитратном. В крайних случаях нередко наблюдается завядание растений, выращиваемых в водной культуре на солях аммония [6, 16, 19].

Слабый рост растений, а иногда их отмирание на аммонийных формах азота исследователи объяснили аммиачным отравлением [9, 11]. Однако еще Д. Н. Прянишниковым показано, что избыточное поглощение аммония, как правило, не вызывает такого отравления. Установлена способность растений при высоких дозах любых форм азотного питания выделять избыток азота в форме аммония [1, 7].

На основании изложенного можно предполагать, что подавление роста растений в условиях  $N - NH_4$  питания обусловлено нарушением водно-солевого режима. Для выяснения указанного вопроса и было предпринято настоящее исследование, результаты которого будут рас-

смагиваться в этой и последующей публикации. В данной статье представлен экспериментальный материал о росте и продуктивности яровой пшеницы, выращенной при двух уровнях влажности корнеобитаемой среды и разных уровнях аммонийного и нитратного питания.

#### Объект и методы исследования

В качестве тест-объекта была выбрана яровая карликовая скороспелая пшеница (полный цикл развития в теплице при искусственном освещении — 65—70 дней) канадской селекции — сорт 150 СВ (World Seeds). Опыты проводили в песчаной культуре, в сосудах, вмещающих 1,3 кг песка без гравия. В качестве основного источника освещения в зимний период и досвечивающего в весенний использовали лампы ДРЛФ-400. Световой день — 16 ч; освещенность в зоне растений — 10—12 тыс. люкс. Температура в теплице поддерживалась постоянно на уровне  $20 \pm 1^\circ$ . Основная питательная смесь — смесь Кюпа, в которой аммонийный азот (в случае аммонийного питания) давали в форме  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Нитраты и аммоний были выравнены по содержанию

азота. Использовали следующие концентрации смеси (в нормах): 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0. Независимо от концентрации питательные соли вносили дважды — перед посевом и в фазу трубкования в равных количествах.

Варианты влагообеспеченности — 40 и 60% полной влагоемкости (ПВ) песка. Полив растений дистиллированной водой проводили ежедневно по массе. В опыте было 20 вариантов, повторность 10-кратная.

В ходе опыта определяли сухую и сырую массу опытных растений в фазу начала колошения, через две недели и при уборке: содержание в надземных органах калия (на пламенном фотометре), кальция и магния (трилонометрическим методом), а также показатели, характеризующие продуктивность растений.

#### Результаты опытов и их обсуждение

Различия в росте растений на  $\text{N} - \text{NH}_4$  и  $\text{N} - \text{NO}_3$  фонах (табл. 1), как и следовало ожидать, оказались значительными, и основной причиной этого являлась сильная физиологическая кислотность аммонийных солей. Однако в течение длительного времени по вегетативному росту «аммиачные» растения при низких концентрациях аммония и относительно высокой влажности субстрата не отличались от растений нитратного варианта. Следует обратить внимание и на то, что повреждающий эффект  $\text{N} - \text{NH}_4$  питания резко возрастал к фазе колошения, т. е. к тому времени, когда надземные органы росли интенсивно, а рост корневых систем практически прекращался. Поэтому очевидна причинная связь между снижением притока ассимилятов в корни и усилением повреждающего действия избытка ионов аммония вследствие очень резкого снижения потребности в них на синтетические процессы.

Т а б л и ц а 1

Сырая масса надземной части (г/растение) при нитратной (в числителе) и аммонийной (в знаменателе) формах питания

Влагообеспеченность, % от ПВ	Концентрация смеси Кюпа, нормы					НСР <sub>05</sub>
	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	
Фаза трубкования (40-дневный возраст)						
40	1,5	2,8	5,0	6,3	6,6	1,1
	0,8	0,5	0,5	0,5	0,4	
60	1,1	2,5	4,1	4,4	4,9	0,2
	1,1	1,0	0,9	0,7	0,6	
Фаза колошения (52-дневный возраст)						
40	2,2	4,5	6,8	9,0	10,0	0,3
	0,9	0,4	0,4	0	0	
60	2,0	4,4	7,3	10,7	11,7	0,6
	1,3	1,1	0,8	0	0	

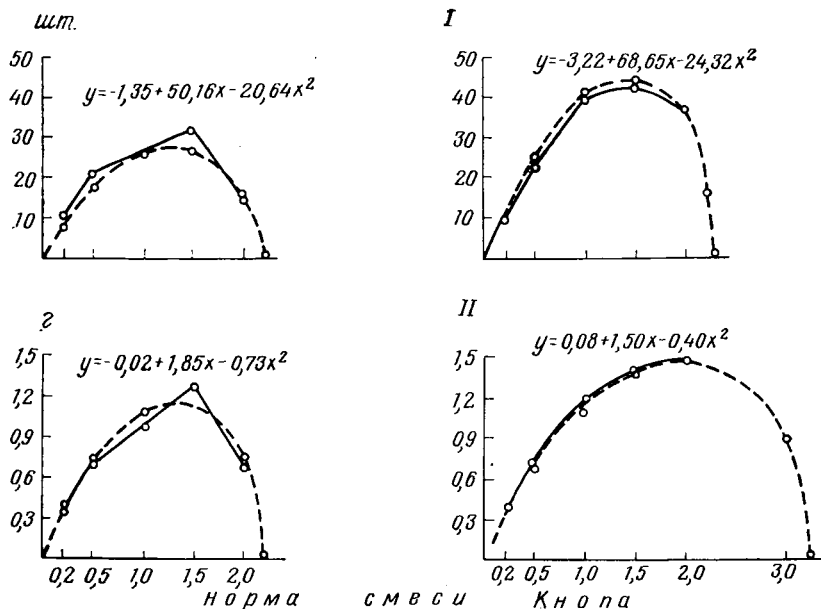
П р и м е ч а н и е. О — растения погибли.

Число и масса зерен в колосе главного побега при нитратной (в числителе) и аммонийной (в знаменателе) формах питания

Влагообеспеченность, % от ПВ	Концентрация смеси Кнопа, нормы				
	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0
Число зерен					
40	10,5	21,8	25,9	31,7	14,8
	6,0	5,5	4,0	0	0
60	9,2	23,5	39,5	49,3	40,2
	7,9	10,1	0	0	0
НСР <sub>05</sub> 5,1					
Масса зерен, г					
40	0,4	0,7	1,0	1,3	0,7
	0,2	0,2	0,1	0	0
60	0,4	0,7	1,2	1,4	1,5
	0,3	0,4	0	0	0
НСР <sub>05</sub> 0,3					

Возможно, что такая реакция растений обусловлена и сильным изменением катионообменной емкости корней под действием непрерывно возрастающей кислотности среды. Следует подчеркнуть, что в нитратном варианте при тепличном выращивании рост пшеницы до фазы трубкования был достоверно лучше при некотором дефиците влажности субстрата.

Данные табл. 2 показывают, что на продуктивную часть аммоний действовал так же, как и на рост надземных органов. Снижение озерненности и массы зерна в колосе соответствовало степени угнетения роста вегетативных органов.



Влияние влажности субстрата и концентрации питательных элементов (нормы смеси Кнопа) на продуктивность колоса главного побега растений, выращенных на нитратном фоне.

I — число зерен в колосе; II — масса зерна; слева — при влажности субстрата 40% ППВ; справа — при 60%.

Т а б л и ц а 3

Отношение массы соломы к массе зерна при нитратной (в числителе)  
и аммонийной (в знаменателе) формах питания

Влагообеспеченность, % от ПВ	Концентрация смеси Кюпа, нормы				
	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0
40	$\frac{1,3}{2,6}$	$\frac{1,3}{2,6}$	$\frac{1,4}{3,8}$	$\frac{1,4}{0}$	$\frac{3,3}{0}$
	$\frac{1,4}{1,8}$	$\frac{1,4}{1,6}$	$\frac{1,2}{0}$	$\frac{1,1}{0}$	$\frac{1,3}{0}$

В нитратном варианте наблюдалась нелинейная зависимость между озерненностью, с одной стороны, и концентрацией питательного раствора и влагообеспеченностью, с другой. Если принять, что отмеченная связь графически выражается параболической кривой, то, очевидно, с повышением влагообеспеченности максимальная величина массы зерна или числа зерен в главном побеге сдвинется вправо. Сказанное иллюстрируется рисунком, на котором представлены рассматриваемые зависимости. Эмпирически найденная кривая рассчитывалась путем подбора коэффициентов к уравнению  $y = a + vx + cx^2$ .

Полученные результаты говорят о том, что выбранная наибольшая концентрация питательных солей (2 нормы Кюпа) по существу является предельной, даже при условии достаточного водообеспечения. Следует заметить, что при влажности песка 70% ПВ растения находятся в условиях избыточного увлажнения, в связи с чем этот вариант изъят из опытов. На основании полученных данных и построенных по ним эмпирических кривых можно утверждать, что дальнейшее небольшое повышение дозы удобрений приведет к резкому уменьшению как числа зерен в колосе, так и их налива.

Наряду с общим подавлением роста, а следовательно, снижением урожайности пшеницы на фоне  $N - NH_4$  отмечено изменение соотношения репродуктивной и вегетативной частей растения.

Из табл. 3 следует, что любое нарушение минерального питания заметно, а в крайних случаях сильно воздействует на указанное выше соотношение. Оно в 2 раза и более возрастает как при избытке мине-

Т а б л и ц а 4

Отношение сырой массы надземных органов к сухой по вариантам опыта при нитратной (в числителе) и аммонийной (в знаменателе) формах питания

Влагообеспеченность, % от ПВ	Концентрация смеси Кюпа, нормы				
	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0
Фаза трубкавания					
40	$\frac{6,7}{5,4}$	$\frac{6,7}{4,4}$	$\frac{8,0}{4,7}$	$\frac{8,5}{4,4}$	$\frac{8,0}{4,2}$
	$\frac{6,2}{5,8}$	$\frac{7,4}{5,2}$	$\frac{8,0}{5,2}$	$\frac{8,5}{4,3}$	$\frac{7,6}{4,3}$
Фаза колошения					
40	$\frac{6,0}{3,6}$	$\frac{5,8}{3,2}$	$\frac{6,1}{3,3}$	$\frac{6,4}{0}$	$\frac{6,5}{0}$
	$\frac{5,6}{3,9}$	$\frac{5,9}{3,5}$	$\frac{6,4}{3,1}$	$\frac{6,8}{0}$	$\frac{7,1}{0}$

ральных солей в среде (2 нормы Кюпа в нитратном варианте), так и при их недостатке, а также при нарушении условий минерального питания на фоне хлористого аммония.

Как отмечалось в обзоре литературы, аммонийные формы азота вызывают нарушение водообмена у растений, которое выражается в том, что они меньше поглощают воду, но больше ее транспирируют [6, 16, 19]. Этот вывод подтверждается также и данными нашего опыта (табл. 4).

Так, на фоне N — NH<sub>4</sub> оводненность тканей надземных органов была почти в 2 раза ниже, чем на фоне нитратов (табл. 4). При этом характерно, что с повышением концентрации питательных солей овод-

Т а б л и ц а 5

Содержание K, Ca, Mg (мкэкв·г<sup>-1</sup> сырой массы) в надземных органах пшеницы в фазу колошения при нитратной (в числителе) и аммонийной (в знаменателе) формах питания

Катион	Концентрация смеси Кюпа, нормы				
	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0
	Влагообеспеченность 40% от ПВ				
Калий	$\frac{83,2}{180,6}$	$\frac{62,1}{318,6}$	$\frac{106,6}{357,6}$	$\frac{121,9}{0}$	$\frac{127,7}{0}$
Кальций	$\frac{58,3}{144,4}$	$\frac{51,7}{196,8}$	$\frac{49,2}{191,0}$	$\frac{56,2}{0}$	$\frac{58,5}{0}$
Магний	$\frac{40,0}{86,1}$	$\frac{36,2}{134,4}$	$\frac{49,2}{151,5}$	$\frac{56,2}{0}$	$\frac{64,6}{0}$
Сумма	$\frac{181,6}{411,1}$	$\frac{150,0}{649,8}$	$\frac{205,0}{700,1}$	$\frac{234,4}{0}$	$\frac{250,8}{0}$
	Влагообеспеченность 60% от ПВ				
Калий	$\frac{85,7}{112,8}$	$\frac{69,5}{205,7}$	$\frac{98,4}{293,5}$	$\frac{113,2}{0}$	$\frac{121,1}{0}$
Кальций	$\frac{53,6}{102,6}$	$\frac{59,3}{148,6}$	$\frac{53,1}{219,3}$	$\frac{45,6}{0}$	$\frac{43,7}{0}$
Магний	$\frac{33,9}{64,1}$	$\frac{37,3}{91,4}$	$\frac{40,6}{80,6}$	$\frac{41,2}{0}$	$\frac{45,1}{0}$
Сумма	$\frac{173,2}{279,5}$	$\frac{166,1}{445,7}$	$\frac{192,1}{593,4}$	$\frac{200,0}{0}$	$\frac{209,8}{0}$

ненность «нитратных» растений также увеличивалась, а «аммонийных» снижалась. Вероятно, в первом случае току воды и ее удержанию способствовали нормально возрастающие осмотический и матричный потенциалы. Значение последнего, по-видимому, для оценки результатов опыта в целом особенно важно в связи с сильной депрессией ростовых процессов в аммонийном варианте. Одним из косвенных аргументов в пользу этого объяснения являются данные о накоплении катионов в надземных органах.

Данные табл. 5, особенно о суммарной концентрации катионов, показывают, что «аммонийные» растения накапливают катионов в 2—3 раза больше, чем «нитратные». Такое значительное различие по суммарной концентрации в первую очередь определяется концентрацией калия, поглощение которого линейно зависит от его концентрации во внешнем растворе. Что же касается кальция и магния, то их содержание независимо от варианта опыта сохраняется на довольно стабильном уровне (кальций около 50 мкэкв·г<sup>-1</sup> сырой массы, магний — около 40—50 мкэкв·г<sup>-1</sup>). Из этого следует, что главным осмотическим агентом

среди катионов является калий; участие в осморегуляции других катионов либо сильно ограничено, либо вообще исключено.

Отмечая высокое содержание катионов у «аммонийных» растений, по-видимому, следует считать неверным вывод о том, что накопление солей было вызвано необходимостью повысить их водный потенциал и одновременно увеличить сопротивление транспирационному току. Если суммарную концентрацию катионов «аммонийных» растений соотнести с оводненностью «нитратных», то существенных различий по СКК надземных органов между растениями обоих вариантов не обнаружится. Таким образом, данные табл. 5, как нам кажется, не противоречат тем результатам опытов, в которых установлено повышение концентрации катионов у «нитратных» растений. Очень вероятно, что изначальной причиной, приводящей к подавлению роста у «аммонийных» растений, является потеря контроля со стороны растительного организма за поступлением, удержанием и расходом воды.

Нарушение водного режима у «аммонийных» растений сказалось и на регуляции содержания катионов в тканях надземных органов. В частности, в аммонийном варианте очень заметно по сравнению с нитратным повысилась концентрация кальция и магния, вследствие чего отношение калия к двувалентным катионам сильно уменьшилось. Таким образом, две взаимосвязанные причины, а именно нарушение механизмов регуляции водного и солевого обмена «аммонийных» растений, вызывают подавление роста.

### Выводы

1. Аммонийные формы азота резко угнетали рост и продуктивность яровой пшеницы. Подавление роста было сильнее при относительно меньшей влагообеспеченности (40% ПВ) и увеличении концентрации питательной смеси Кнопа от 0,2 до 2,0 норм. При норме выше 0,5 после фазы трубкования растения погибали.

2. Оптимальной продуктивности растений соответствует оптимальная масса надземных органов. Ее отклонение от оптимума, достигаемого при 1,5 нормы смеси Кнопа, особенно в сторону увеличения массы, приводило к резкому снижению количества и качества семенной продукции. Увеличение нормы питания до 2,5—3,0 может сильно ингибировать рост и развитие репродуктивных органов, задержать налив зерна.

3. Предполагается, что нарушение в росте и снижении продуктивности «аммонийных» растений изначально обусловлены нарушением регуляторных механизмов, контролирующих водно-солевой режим в тканях, органах, целом растении.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев С. С., Алексина Н. Д. Поглощение нитратной и аммониевой форм азота растениями кукурузы при разных рН питательной среды. «Физиол. раст.», 1967, № 1, с. 130—135. — 2. Владимиров А. В. Физиологические основы применения азотных и калийных удобрений. М., Сельхозгиз, 1948. — 3. Демолон А. Рост и развитие культурных растений. М., Сельхозгиз, 1961. — 4. Игнатъевская М. А., Гунар И. И., Петров-Спиридонов А. Е. Поглощение нитратного и аммонийного азота проростками ячменя и вики в зависимости от величины соотношения калия и кальция в питательном растворе. «Изв. ТСХА», 1969, вып. 5, с. 3—9. — 5. Колосов И. И. Поглощительная деятельность корневых систем растений. М., Изд-во АН СССР, 1962. — 6. Крастина Е. Е., Лосева А. С. Влияние формы азотного питания на поглощение воды растениями, концентрацию и соотношение катионов в их органах. «Изв. ТСХА», 1975, вып. 5, с. 13—21. — 7. Прянишников Д. Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1945. — 8. Туркова Н. С. Влияние соотношения калия и кальция в питательном растворе на поглощение растениями нитратных и аммонийных ионов. «Докл. ТСХА», 1945, вып. 11, с. 102—105. — 9. Турчин В. Ф. Взаимодействие азота, фосфора и калия в питании растений при использовании ими нитратных и аммонийных форм азота. «Агробиология», 1964, № 5, с. 29—36. — 10. G a u c h H. «Pl. Physiol.»

- 1940, vol. 15, N 1, p. 1—21. — 11. Grasmanis V., Leeper G. W. "Agrochimica", 1965, vol. 10, N 1, p. 54—63. — 12. Honert T. H., Hooymans I. I. M. "Acta Bot. Neerl.", 1961, vol. 10, N 3, p. 261—273. — 13. Kirkby E. A. Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Blackwell, 1965. — 14. Loutai I. et al. "Agrokem estalaj", 1967, vol. 16, N 1—2, p. 97—110. — 15. Lycklama J. C. "Acta Bot. Neerl.", 1963, vol. 12, N 4, p. 361—423. — 16. Quebedeaux B., Ozbun J. L. "Pl. Pysiol.", 1973, vol. 52, N 6, p. 677—679. — 17. Sauvaire Y., Baccou J. C. Utilization de l'azote. Paris, 1965. — 18. Skok J. "Pl. Physiol.", 1941, vol. 16, N 1, p. 145—157. — 19. Stuart D. M., Jay L. H. "Pl. Physiol.", 1966, vol. 41, N 6, p. 1090. — 20. Thomson A. Der Wert der Ammonsalze für die Ernährung höheren Pflanzen. Dorpat, 1922.

*Статья поступила 4 июля 1978 г.*

#### SUMMARY

The effect of different forms and concentrations of nitrogen on the growth and productivity of spring wheat SV-151 was studied in a sand culture. It is supposed on the base of the analysis of the obtained data on the cation composition of the above ground organs, their moisture content and growth and productivity characteristics that disturbance of control mechanisms checking the water- and salt regime is the original cause of intensive suppression of growth processes in "ammonium" plants.