

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Т. Т. ДЕМИДЕНКО и Р. А. БАРИНОВА

**ВЛИЯНИЕ ФОРМ, ДОЗ АЗОТА и pH ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА
НА УРОЖАЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ**

(Представлено академиком А. А. Рихтером 25 II 1940)

Осмотическое давление почвенного раствора является важным фактором урожайности. Каждое растение в молодом возрасте лучше развивается, когда в его распоряжении имеются питательные вещества в невысокой концентрации, и болезненно реагирует на повышение осмотического давления почвенного раствора. Правда, между ними имеются существенные различия: одни в молодом возрасте, испытывая депрессию от внесения высоких доз солей в почву, в силу особых свойств их протоплазмы, впоследствии оправляются и развиваются довольно благоприятно при высоких концентрациях почвенного раствора, другие, попадая в молодом возрасте в условия повышенной концентрации солей в почве, болезненно реагируют, и эта депрессия накладывает отпечаток на всю последующую жизнь растения.

Осмотическое давление почвенного раствора определяется общей концентрацией солей, находящихся в почвенном растворе, причем величина осмотического давления зависит от константы диссоциации этих солей: чем сильнее диссоциируют соли, тем сильнее они повышают осмотическое давление почвенного раствора.

Особенно большое значение приобретает изучение осмотического давления почвенного раствора на урожай и химический состав яровой пшеницы вследствие ее огромной народнохозяйственной важности, а также потому, что массивы ее располагаются в районах, где высокая концентрация солей в почве постоянно наблюдается вследствие весьма ограниченного количества осадков и низкой относительной влажности атмосферы. Мы пытались проследить влияние различных форм и концентраций азота на состав зерна яровой пшеницы. Правда, по данному вопросу имеется большое количество исследований⁽¹⁻⁹⁾, но в большинстве опытов растения выращивались без учета изменения концентраций и реакций почвенного раствора; на растворе с неизменной концентрацией и реакцией опыт можно было провести только в текучих песчаных культурах, которые позволяют регулировать концентрацию питательного раствора и реакцию среды. Осуществить эти опыты нам удалось в 1936 г. на Воронежской областной опытной станции.

Опыты проводились в песчаных культурах (в сосудах на 5 кг песка). В опыте высевалась яровая пшеница гордепформе 040. В качестве основ-

ного фона была принята водопроводная вода, растения выращивались при $\text{pH}=5,5$ и $\text{pH}=7,0$ при 4-кратной повторности. В качестве источника азота вносились $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и NaNO_3 , фосфор дан в виде KH_2PO_4 , а кислая реакция создавалась внесением в водопроводную воду серной кислоты. При всех концентрациях аммиачные соли в течение периода вегетации подкисляли питательную смесь, а нитратные подщелачивали ее. Азот в дозах: 21 мг на литр, что соответствует $\frac{1}{4}$ дозы азота в смеси Гельригеля, во втором варианте—42 мг, в 3-м—84 мг, в 4-м—126 мг, в 5-м—168 мг, в 6-м—252 мг. Каждый день в сосуды вносился цитрат железа из расчета по 1 мг на 1 кг песка.

Растения развивались довольно благоприятно при $\text{pH}=5,5$ по нитратам, а при нейтральной реакции они испытывали некоторые угнетения в теплые и жаркие дни. По аммиачному азоту пшеница развивалась хорошо при нейтральной реакции, где одновременно в растения поступали достаточные количества кальция, магния и калия, которые препятствовали быстрому поступлению аммиака, значительное количество которого отражается отрицательно на развитии растений, особенно в молодом возрасте. При слабокислой реакции по аммиачному питанию растения развивались хуже, чем при нейтральной реакции, так как в этих условиях аммиак поступал в растения интенсивнее, чем в нейтральной зоне, благодаря тому что кальций, магний и калий не могли так сильно антагонизировать с аммиаком, как при нейтральной реакции. В этой зоне он мог сильно антагонизировать только с водородным ионом, вследствие чего поступал в растения в значительном количестве, вызывая депрессию в развитии яровой пшеницы.

Во всех вариантах растения развивались довольно пышно, кроме тех, где давались высокие дозы азотных удобрений, которые как при аммиачном, так и нитратном питании угнетали рост пшеницы. По аммиачному азоту вначале наблюдалась депрессия роста до тех пор, пока растения стали накапливать больше углеводов, переводящих избыточное количество азота в аспарагин, а в дальнейшем в аминокислоты и белковые соединения.

Так как в этом опыте изучалось влияние осмотического давления питательного раствора на урожай и состав зерна пшеницы, то в анализах главное внимание уделено накоплению белка и крахмала в зависимости от форм азота и осмотического давления раствора. Результаты опыта представлены в таблице.

Из приведенных данных видно, что самый высокий урожай пшеницы получен при кислой реакции по азотнокислому натрию, причем самая низкая концентрация оказалась оптимальной для развития зерна и соломы. Другие концентрации менее эффективны, повидимому, потому, что азот нарушал поступление других анионов, а избыток одного азота влиял неблагоприятно на урожай. Высокие дозы азотнокислого натрия при нейтральной реакции использовались менее продуктивно, чем при слабокислой, так как использование их затруднялось медленной редукцией нитратов. Правда, усвоение азота в этом случае замедлялось, повидимому, вследствие накопления значительного количества катионов в клетках, которые поступали энергичнее при нейтральной реакции вследствие перемены заряда клеточной мембраны.

Аммиачный азот, который получали растения при слабокислой реакции, вызывал понижение урожая в сравнении с нитратным, так как водородный ион, препятствуя поступлению аммиака в растения, тормозил их рост. При нейтральной реакции аммиачный азот поглощался весьма энергично и продуктивно использовался, так как в растительном организме были созданы благоприятные условия для биохимических реакций. Высокие дозы сернокислого аммония не кислотностью, а высокой концентрацией способствовали понижению урожая пшеницы.

Влияние осмотического давления почвенного раствора на урожай пшеницы

| Схема опыта | Урожай на сосуд в г | | Содержание в зерне в % к сухому веществу | | | | | | |
|--|---------------------|-------|--|-------|-----------|-------------------------------|------------------|-------|-------|
| | Общий | Зерна | Общего N | Белка | Крах-мала | P ₂ O ₅ | K ₂ O | MgO | CaO |
| pH=5,5; NaNO ₃ в 1 л раствора | | | | | | | | | |
| 21 мг | 48,12 | 19,35 | 2,432 | 13,45 | 64,78 | 1,356 | 0,483 | 0,132 | 0,254 |
| 42 » | 45,36 | 17,38 | 2,678 | 13,86 | 62,35 | 1,332 | 0,426 | 0,127 | 0,238 |
| 84 » | 41,56 | 15,36 | 2,935 | 14,21 | 60,36 | 1,284 | 0,413 | 0,113 | 0,235 |
| 126 » | 38,42 | 13,12 | 3,099 | 16,27 | 58,42 | 1,266 | 0,408 | 0,092 | 0,218 |
| 168 » | 30,25 | 11,18 | 3,134 | 16,85 | 56,13 | 1,245 | 0,386 | 0,085 | 0,196 |
| 252 » | 26,38 | 10,12 | 3,256 | 17,25 | 55,28 | 1,236 | 0,336 | 0,072 | 0,185 |
| pH=7,0; NaNO ₃ в 1 л раствора | | | | | | | | | |
| 21 мг | 40,12 | 14,32 | 2,575 | 12,58 | 63,17 | 1,254 | 0,532 | 0,157 | 0,263 |
| 42 » | 38,36 | 12,18 | 2,596 | 14,50 | 60,40 | 1,256 | 0,507 | 0,116 | 0,249 |
| 84 » | 34,25 | 10,25 | 2,789 | 15,21 | 59,19 | 1,208 | 0,468 | 0,112 | 0,236 |
| 126 » | 30,62 | 9,85 | 2,836 | 16,01 | 58,14 | 1,196 | 0,425 | 0,109 | 0,216 |
| 168 » | 26,18 | 8,42 | 2,912 | 16,12 | 57,17 | 1,182 | 0,403 | 0,096 | 0,193 |
| 252 » | 20,45 | 8,96 | 3,158 | 17,35 | 56,18 | 1,165 | 0,384 | 0,092 | 0,186 |
| pH=5,5; (NH ₄) ₂ SO ₄ в 1 л раствора | | | | | | | | | |
| 21 мг | 30,16 | 11,36 | 2,648 | 14,02 | 61,75 | 1,375 | 0,397 | 0,126 | 0,238 |
| 42 » | 27,15 | 10,12 | 2,718 | 14,85 | 60,35 | 1,354 | 0,364 | 0,115 | 0,216 |
| 84 » | 25,48 | 9,35 | 2,936 | 15,73 | 59,13 | 1,036 | 0,345 | 0,092 | 0,215 |
| 126 » | 20,45 | 8,65 | 3,145 | 16,48 | 58,25 | 1,257 | 0,307 | 0,086 | 0,206 |
| 168 » | 16,37 | 7,24 | 3,276 | 17,12 | 57,39 | 1,247 | 0,298 | 0,082 | 0,196 |
| 252 » | 14,18 | 6,13 | 3,342 | 17,86 | 56,25 | 1,205 | 0,275 | 0,076 | 0,192 |
| pH=7,0; (NH ₄) ₂ SO ₄ в 1 л раствора | | | | | | | | | |
| 21 мг | 42,85 | 17,36 | 2,786 | 14,35 | 62,72 | 1,276 | 0,457 | 0,145 | 0,378 |
| 42 » | 39,75 | 15,42 | 2,896 | 15,78 | 61,13 | 1,254 | 0,438 | 0,124 | 0,256 |
| 84 » | 37,42 | 13,96 | 3,154 | 16,31 | 60,48 | 1,248 | 0,426 | 0,115 | 0,251 |
| 126 » | 39,16 | 10,72 | 3,348 | 18,25 | 57,14 | 1,196 | 0,409 | 0,098 | 0,236 |
| 168 » | 28,15 | 9,36 | 3,425 | 19,01 | 56,85 | 1,185 | 0,324 | 0,095 | 0,207 |
| 252 » | 25,16 | 8,32 | 3,562 | 19,35 | 55,61 | 1,176 | 0,318 | 0,087 | 0,185 |

Рассматривая химический состав зерна пшеницы, видим, что самый высокий процент белка получен в вариантах, где растения питались аммиачным азотом, но, имея азот в форме аммонийных соединений, растения неодинаково использовали его в зависимости от реакции среды. При нейтральной реакции они синтезировали больше белка, чем при слабокислой реакции, имея тот же источник азота. Во всех случаях по аммиачному азоту с повышением осмотического давления питательного раствора наблюдалось увеличение количества белкового азота в растениях, так как интенсивно поступающий минеральный азот при значительном количестве ассимилятов энергично использовался на синтез белка.

При нитратном питании наиболее высокий процент белков получен при слабокислой реакции, а при нейтральной—количество его меньше, с повышением количества нитратов в почве при слабокислой и нейтральной реакции среды процент белкового азота в пшенице повышается.

В зерне определялось также содержание крахмала. С повышением процента белка содержание крахмала в зерне уменьшается, так как в процессе фотосинтеза накапливаются углеводы, которые, уплотняясь, дают начало крахмалу, а часть, вместе с азотом, дает начало белку, процент которого увеличивается в зерне с повышением доз азота в растворе.

Для крахмала наблюдается обратная картина: количество его уменьшается с повышением процента белка, так как продукты ассимиляции усиленно потребляются при синтезе белковой молекулы.

При повышенных дозах сернокислого аммония и азотнокислого натрия и при различном значении рН растения поглощали неодинаковое количество питательных элементов: азота, фосфора, калия, кальция и магния.

При слабкокислой реакции в присутствии аммония пшеница поглощала значительное количество фосфорной кислоты, которая направлялась в растения с подвижными катионами. При нейтральной реакции поглощение фосфора уменьшается. Увеличение концентрации азота в питательной среде вызывает уменьшение поступления фосфорной кислоты как по аммиачному, так и по нитратному питанию.

При нитратном питании из раствора со слабкокислой реакцией фосфорная кислота поступала несколько слабее, чем при аммиачном, так как в кислой зоне по PO_4 сильнее антагонизировал с анионами NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , из которых первые два отличаются большей подвижностью в отношении проникновения через клеточную мембрану, вследствие чего поступление фосфорной кислоты в растения замедлялось по мере повышения осмотического давления почвенного раствора. При нейтральной реакции поступление фосфора несколько затрудняется, и количество его в зерне и соломе понижается.

В поступлении калия по аммиачному питанию при слабкокислой реакции наблюдается депрессия в сравнении с условиями нейтральной реакции среды вследствие антагонизма со стороны водородного иона, а также NH_4^+ , ослаблявших темпы поступления калия. При нейтральной реакции калий поступал в большем количестве, чем при слабкокислой, благодаря перемене заряда клеточной мембраны корневого волоска. С увеличением доз аммиака в почве количество калия в растениях понижается вследствие подавления интенсивности поступления его аммиаком, который, находясь в растворе в значительном количестве, препятствовал проникновению калия.

Следует остановиться на поступлении кальция и магния, содержание которых также определялось в зерне и соломе пшеницы. Поступление этих элементов при кислой реакции находилось под воздействием весьма подвижных ионов (H^+ , NH_4^+ , Na^+ , K^+). Кальций и магний, отличаясь большей валентностью, а следовательно, меньшей подвижностью, медленнее проникали в корневые волоски, вследствие чего количество их в зерне и соломе оказалось меньшим. Еще сильнее отражается рН в нейтральном интервале, в этом случае поступление кальция и магния происходило значительно энергичнее, чем при слабкокислой реакции.

При нитратном питании наблюдается такая же зависимость поступления Ca и Mg от реакции среды, как и при аммиачном питании. При повышении концентрации азотнокислого натрия количество этих элементов уменьшалось в растениях вследствие того, что они не могли конкурировать с весьма подвижным натрием, которого к тому же было много в растворе.

При нейтральной реакции растения больше поглощали кальция и магния, чем при слабкокислой; однако при повышении количества азотнокислого натрия в растворе количество кальция и магния в зерне и соломе уменьшалось вследствие того, что наличие избытка натрия затрудняло поступление двухвалентных ионов.

Содержание общего азота по аммиачному питанию при слабокислой реакции всюду было меньше, чем у растений, выросших при нейтральной реакции, так как в последнем случае не было водородного иона, который проникал бы быстрее, чем аммиак, в клетку. С повышением концентрации аммиака в обеих зонах кислотности (при $pH=5,5$ и $pH=7,0$) растения поглощали больше азота, чем при небольших количествах этого катиона.

Внесение азотнокислого натрия при слабокислой реакции во всех дозах усиливало поглощение азота.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Выращивание яровой пшеницы при слабокислой или нейтральной реакции по аммиачному и нитратному азоту приводит к различным результатам: при слабокислой реакции аммиак используется несколько хуже, чем при нейтральной, а нитратный азот в тех же условиях поступает интенсивнее, чем в нейтральном интервале.

2. Выращивая яровую пшеницу в текучих растворах при слабокислой и нейтральной реакции и возрастающих дозах азота, можно наблюдать, что низкие дозы его вызывают больший эффект, чем высокие, независимо от форм азота.

3. По аммиачному азоту, как правило, в зерне накапливалось больше белка, чем по нитратному. Белок и крахмал находились в обратном отношении друг к другу: чем больше было в зерне белка, тем меньше крахмала, и наоборот.

4. Если следить за ходом накопления белка в яровой пшенице, то можно отметить, что аммиачный азот вызывал накопление большего количества белка и зерна, чем нитратный.

5. С повышением дозы азота в питательной среде увеличивается количество белка в зерне.

6. При слабокислой реакции по аммиачному азоту растения поглощают меньше азота, чем при нейтральной реакции, а по азотнокислому натрию наоборот.

7. При слабокислой реакции яровая пшеница поглощает больше фосфорной кислоты, чем при нейтральной реакции, в присутствии как аммиачного, так и нитратного азота.

8. Поглощение кальция и магния растениями при возрастающих дозах $NaNO_3$ и $(NH_4)_2SO_4$ при различном pH уменьшается вследствие сильного антагонизма со стороны катионов Na и NH_4 .

9. Калий при нейтральной реакции поступал значительно интенсивнее, чем при кислой. Возрастающие дозы разных форм азота влияли также на содержание калия в растениях, уменьшая его, благодаря избыточному поступлению в одном случае водородного иона H , NH_4 , а в другом Na .

Лаборатория физиологии
Воронежской опытной станции

Поступило
27 II 1940

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. С. Авдонин, Хим. соц. земл., 2 (1937). ² А. А. Стольгане, РВО, 9 (1913). ³ А. В. Трофимов, НАЖ, 9—10 (1926). ⁴ А. И. Шуклина, НАЖ, 1 (1926). ⁵ И. В. Якушкин, РВО, 8 (1912). ⁶ J. H. Priestley, New Phyt., XIX (1920). ⁷ A. Ursprung, Ber. bot. Ges., 41 (1923). ⁸ И. Г. Дикусар, РВО, 14 (1928). ⁹ Д. Н. Прянишников, Юбил. сборник, 2 (1928).