

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Т. Т. ДЕМИДЕНКО

О ПИТАНИИ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ ЖЕЛЕЗОМ

(Представлено академиком А. А. Рихтером 26 III 1937)

К разряду веществ, которые растения поглощают из питательного раствора в очень малых количествах, относится железо. Хотя железо во многих почвах находится в очень небольших количествах, однако оно играет колоссальную роль в жизни растений при фотосинтезе. Если в питательной среде не имеется железа, то растения слабо растут, желтеют, белеют, засыхают и наконец погибают. Достаточно дать хлоротичным растениям немного железа, как они быстро приобретают зеленую окраску и здоровый вид. В этом сообщении затронем ряд вопросов по питанию высших растений железом.

Так как железо имеет огромное значение в жизни растения и сроки поступления его в растение не совсем детально изучены, мы попытались проследить за динамикой этого элемента у подсолнечника и овса за период роста. Хотя подсолнечник и овес одновременно начинают желтеть на растворах без железа, однако между ними есть резкая разница: овес даже длительное голодание переносит сравнительно легче, чем подсолнечник.

В опыте были Немерчанский овес и подсолнечник Гигант. Они выращивались на смеси Кнопа в сосудах на 5 л. Результаты опыта представлены в табл. 1.

Растения выращивались при 5.0—6.0 рН в течение всего периода вегетации. В качестве источника железа они получали FeCl_3 по 30 мг на 1 л раствора. Растения всюду развивались очень хорошо, пока было железо в питательной среде, а после перевода их на неполную питательную смесь они в молодом возрасте желтели, страдали и наконец погибали. Особенно быстро погибал подсолнечник: корневая система загнивала, отваливалась, листья и верхушечная почка закручивались, опадали, а со временем все растение погибало. Овес очень долго страдал без железа, немного развивался, корневая система была вполне здоровая и не проявляла никакого заболевания. Овес и подсолнечник были доведены до полного созревания.

Из полученных урожайных данных видно следующее:

1. Главную массу железа овес и подсолнечник поглощают до цветения.
2. Оба растения, снятые с железного довозствия раньше указанного срока, дают урожай ниже контрольных растений.
3. Хотя железо поступает в растение и после цветения, однако оно очень слабо или вовсе не используется для синтеза сухого вещества.

Таблица 1

Влияние сроков питания овса и подсолнечника железом на урожай этих растений

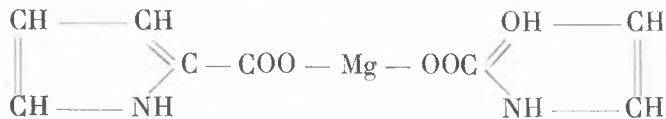
| № сосу- дов | Схема опыта | Подсолнечник | | | Овес | | |
|-------------------|-----------------------------|--------------|--------|---|--------|--------|---|
| | | Урожай | | Погло- ща- ли же- леза на 1 г сухого ве- щества | Урожай | | Погло- ща- ли же- леза на 1 г сухого ве- щества |
| | | в г | в % | | в г | в % | |
| 1—4 | Растения получали Fe 3 нед. | 6.42 | 8.70 | 2.9 | 3.84 | 20.44 | 2.02 |
| 5—8 | » » » 4 » | 11.35 | 15.39 | 7.6 | 6.48 | 34.49 | 2.57 |
| 9—12 | » » » 5 » | 20.76 | 28.14 | 12.7 | 11.88 | 63.22 | 3.22 |
| 13—16 | » » » 6 » | 29.52 | 40.02 | 18.39 | 14.47 | 77.01 | 4.84 |
| 17—20 | » » » 7 » | 42.48 | 57.59 | 25.43 | 18.45 | 98.19 | 4.96 |
| 21—24 | » » » 8 » | 54.39 | 73.87 | 27.44 | 18.58 | 98.88 | 5.01 |
| 25—28 | » » » 9 » | 65.13 | 91.01 | 29.35 | 18.79 | 100.00 | 5.21 |
| 29—32 | » » » 10 » | 73.76 | 100.00 | 32.38 | 18.51 | 98.51 | 5.21 |
| 33—36 | » » » 12 » | 71.80 | 97.34 | 32.76 | 18.03 | 95.95 | 5.34 |
| 37—40 | » » » 16 » | 73.12 | 99.13 | 33.41 | — | — | — |
| 41—44 | » » » 18 » | 73.32 | 99.40 | 31.56 | — | — | — |

4. Подсолнечник на 1 г сухого вещества поглощает больше железа, чем овес.

5. Максимум поглощения железа совпадает с усиленным накоплением сухого вещества и образованием ассимиляционной поверхности.

Уже давно известно, что железо нужно положительно для всех высших и низших растений, и ни одно из них не может развиваться вполне нормально без этого элемента. В последнее время некоторые исследователи^(1—7) делали не безуспешные попытки заменить его в теле растений на Mn и Ni.

Не входя в детальное рассмотрение своих опытов с кукурузой и овсом, проведенных в водных культурах, отметим, что все наши попытки заменить железо на Zn, Mn, Al, Ni, Cd и Zr дали отрицательные результаты: ни один из этих элементов, внесенных в питательную смесь Кюппа, не вызывает позеленения хлорозных листьев. В свое время появилась интересная работа Oddo и Polacci^(8—9), в которой эти исследователи показали, что железо необходимо в растениях для образования промежуточного соединения Mg-соли α -пиррол-карбоновой кислоты:



которая входит в комплексную молекулу хлорофилла^(10,11).

Полученные результаты были столь неожиданны, что потребовали проверки их. Опыты Deuber'a⁽¹²⁾ показали, что Mg-соль α -пиррол-карбоновой кислоты функционально не может заменить в растений железа.

Нас эти опыты интересовали, так как мы полагали, что неудача исследований Deuber'a произошла от того, что в них давались растениям слишком высокие дозы Mg-соли α -пиррол-карбоновой кислоты (от 100—300 мг на 1 л раствора). Если бы опыты Oddo и Polacci подтвердились, тогда

можно было бы выращивать здоровые и зеленые растения при нейтральной и щелочной реакции в водных культурах, внося в растворы вместо железа Mg-соль α -пиррол-карбоновой кислоты.

Для того чтобы проследить влияние возрастающих доз этой соли на развитие и урожай кукурузы, мы поставили опыт в стерильных условиях, выращивая растения на смеси Кнопа в сосудах емкостью в 3 л. Результаты представлены в сжатом виде в табл. 2.

Таблица 2

Влияние Mg-соли α -пиррол-карбоновой кислоты на развитие и урожай кукурузы

| № сосудов | Схема опыта | Урожай в граммах | | |
|-----------|---|------------------|--------|-------|
| | | Стеблей | Корней | Всего |
| 1—2 | Питательная смесь Кнопа | 15.48 | 2.96 | 18.44 |
| 3—4 | Смесь Кнопа без железа | 2.32 | 0.34 | 2.66 |
| 5—6 | » » + альбуминат железа | 13.18 | 2.26 | 15.44 |
| 7—8 | » » + сахарат железа | 12.87 | 2.11 | 14.98 |
| 9—10 | » » + 10 мг FeCl ₃ и 10 мг Mg-соли α -пиррол-карбоновой кислоты | 10.36 | 1.86 | 12.22 |
| 11—12 | Смесь Кнопа + 5 мг Mg-соли α -пиррол-карбоновой кислоты | 2.08 | 0.40 | 2.48 |
| 13—14 | Смесь Кнопа + 15 мг Mg-соли α -пиррол-карбоновой кислоты | 1.14 | 0.53 | 1.67 |

Контрольные растения развивались вполне нормально, они были зеленые и дали довольно высокий урожай. Растения без железа, использовав те запасы, которые находились в семени, пожелтели и приостановились в росте. Кукуруза, получившая возрастающие дозы Mg-соли α -пиррол-карбоновой кислоты, независимо от количества этой соли развивалась так же слабо, как и в сосудах без железа. Растения страдали типичным хлорозом. Повидимому эта соль или не поступала в растения, или она не могла достигнуть листа, фиксируясь в корне или стебле, или наконец она не была способна вообще вызвать позеленение.

Применяя впрыскивание и втирание железа в хлоротичные листья, нам удавалось вызвать позеленение их; если же мы применяли такой же способ питания растений Mg-солью α -пиррол-карбоновой кислоты, то всегда получали отрицательные результаты—растения всюду были желтые и не зеленели.

Выводы из этого опыта таковы: 1) Mg-соль α -пиррол-карбоновой кислоты функционально не может заменить в растении железа; 2) вводя в корень, лист и стебель раствор этой соли, не удается вызвать позеленение хлорозных листьев; 3) растения в присутствии этой соли и железа в растворе развивались вполне нормально без всяких признаков угнетения их; 4) железо одно и вместе с Mg-солью α -пиррол-карбоновой кислоты, введенное под эпидермис листа, в сосудистый пучок, вызывает зеленую окраску у хлорозных листьев.

При выращивании растения в водных культурах очень трудно бороться с хлорозом при нейтральной и щелочной реакции вследствие перехода железа в осадок. Для того чтобы удержать этот элемент в растворе, мы вносим в питательную смесь защитные коллоиды: альбумин, желатину, крахмал, декстрин и кремневую кислоту. Оказывается, что коллоидальное железо

при наличии в среде защитных веществ не переходит в осадок как при нейтральной, так и щелочной реакции.

Раньше мы полагали, что нам удастся выращивать вполне зеленые и здоровые растения в нейтральном и щелочном интервалах при внесении в раствор вместо железа Mg-соли α -пиррол-карбоновой кислоты. Но эта попытка закончилась неудачей. Для решения этого вопроса мы стали на другой путь. Нам хотелось испытать и узнать, будут ли растения использоваться для питания золь железа. В случае положительного решения этого вопроса можно было удерживать в растворе Fe при нейтральной и щелочной реакции с помощью защитных коллоидов и выращивать в этих интервалах зеленые и здоровые растения. Для решения этого вопроса мы поставили опыт в водных культурах с овсом и кукурузой, выращивая их в присутствии и отсутствии защитных коллоидов. Схема опыта и результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние коллоидального железа на развитие и урожай кукурузы и овса

| № сосудов | Схема опыта | Урожай в граммах | | | | | |
|-----------|---|------------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | | Кукуруза | | | Овес | | |
| | | Стебли | Корни | Всего | Стебли | Корни | Всего |
| 1—4 | Полная смесь Кнопа | 34.18 | 4.72 | 38.90 | 8.42 | 1.96 | 10.38 |
| 5—8 | Смесь Кнопа, но с изоляцией железа | 18.32 | 1.44 | 19.76 | 3.36 | 0.49 | 3.85 |
| 9—12 | Смесь Кнопа + золь железа | 4.42 | 0.36 | 4.78 | 1.36 | 0.14 | 3.50 |
| 13—16 | Смесь Кнопа, но с изоляцией золя железа | 3.36 | 0.27 | 3.63 | 1.14 | 0.11 | 1.25 |
| 17—20 | Смесь Кнопа + золь железа и 100 мг защитных коллоидов | 2.97 | 0.34 | 3.31 | 1.34 | 0.14 | 1.48 |
| 21—24 | Смесь Кнопа с изоляцией золя Fe со 100 мг альбумина | 2.65 | 0.32 | 2.97 | 1.24 | 0.18 | 1.42 |
| 25—28 | Смесь Кнопа с изоляцией золя Fe со 100 мг желатины | 3.18 | 0.37 | 3.55 | 1.35 | 0.22 | 1.57 |
| 29—32 | Смесь Кнопа с изоляцией золя Fe со 100 мг кремневой кислоты | 3.36 | 0.42 | 3.78 | 1.42 | 0.26 | 1.68 |

В течение лета растения в этом опыте развивались так. Кукуруза и овес на полной смеси были зеленые и дали высокий урожай. В случае изоляции железа на листовых пластинках появлялись желтые полосы, растения в этих сосудах развивались хуже, чем контрольные. Кроме того корневая система, которая находилась в растворе железа, была слабо развита вследствие недостаточного снабжения ее продуктами ассимиляции. При внесении в питательную смесь (вместо молекулярного) коллоидального железа мы получаем очень низкие урожаи, так как кукуруза и овес были очень бледные и слабые и совершенно не усваивали золь железа. Растения не использовали его в изолированных и неизолированных культурах. При внесении коллоидального железа в питательную смесь оно, быстро переходя в гель, выпадает в осадок, но при изоляции его корневая система вся была погружена в раствор золя, растения не могли его использовать для синтетических целей: попрежнему были бледножелтые и со временем прекратили свой рост.

Выше мы указывали, что золь железа без защитных коллоидов в питательном растворе свертывается и переходит в осадок. При внесении коллоидального железа в питательный раствор, а также защитных веществ золь железа при нейтральной и щелочной реакции удерживается в растворе, не переходя в осадок. Несмотря на то, что растения имели всюду хорошо развитую корневую систему и золь железа был в растворе, однако они совершенно не использовали его и развивались весьма слабо. Точно так же овес и кукуруза не могли использовать коллоидального железа и при кислой реакции (при 4.0—4.5 рН), так как оно здесь повидимому не переходило в молекулярное состояние. Если ввести путем втирания или впрыскивания золь железа в мякоть листа, то он не расплывается и не образует характерного для понного железа пятна, которое довольно быстро появляется на хлорозном или зеленом листу при прикосновении его с железом. Обратное, вводя например $Fe_2(SO_4)_3$ и $FeCl_3$ в листовую ткань, можно легко и быстро вызвать позеленение у хлорозных растений. Этот опыт показал следующее.

1. Овес и кукуруза не усваивают коллоидального железа независимо от места введения его в растение—через лист или корень.

2. Растения не используют для синтетических целей коллоидального железа при самых разнообразных значениях рН питательного раствора.

3. Золь железа при нейтральной и щелочной реакции можно удерживать в растворе с помощью защитных коллоидов и, несмотря на то, что корневая система омывается раствором, богатым железом, растения не усваивают его.

В ы в о д ы

1. Mg-соль α -пиррол-карбоновой кислоты функционально не может заменить растению железа. Кукуруза, использовав его запасы, находящиеся в семени, бледнеет, желтеет и со временем погибает.

2. Следя за поступлением железа в растения в течение периода роста, удалось показать, что подсолнечник и овес запасаются им до цветения, а если оно поступает и после цветения, то слабо используется для синтетических целей.

3. Золь железа можно удерживать в растворе при нейтральной и щелочной реакции при помощи защитных коллоидов, но растения не могут поглощать его вследствие значительной величины молекулы золя, которая не может проникать через клеточную мембрану.

4. Растения, получившие железо через листья и стебли, дают урожай ниже, чем растения, получившие его через корень. При листовом питании растений раствором $Fe_2(SO_4)_3$ и $FeSO_4$ получается лучший эффект, чем при питании их цитратом или тартратом железа.

5. Высшие растения в одинаковой мере используют для своего питания сернокислое, закисное и окисное железо.

Отдел физиологии.
Воронежская областная опытная станция.

Поступило
26 III 1937.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. RippeI, Biochem. ZS., 140 (1923). ² R. L. Gile, Science, 44, 855 (1916). ³ K. Boreseh, Ber. Deut. Bot. Ges., 38, 287 (1920). ⁴ K. Boreseh, ZS. f. Bot., 13, 65 (1921). ⁵ K. Boreseh, Arch. f. Protist., 41, 62 (1921). ⁶ K. Boreseh, Ber. Deut. Bot. Ges. (1924). ⁷ K. Neuberger, Biochem. ZS. (1918). ⁸ G. Pollacci u. B. Oddo, Acad. Lincei, 24, 37—39 (1915). ⁹ B. Oddo u. G. Pollacci, Gaz. Chim. Ital., 50, 54—70 (1920). ¹⁰ R. Wilstätter, Ann. Chem., 385, 188—226 (1906). ¹¹ R. Wilstätter, Libigs Ann. Chem., 385, 188—226 (1911). ¹² G. S. Deuber, Amer. Journ. Bot. (1926).