

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Я. М. ГЕЛЛЕРМАН

**НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О МЕХАНИЗМЕ МИНЕРАЛЬНОГО
ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ АДСОРБИРОВАННЫМИ ИОНАМИ**

(Представлено академиком А. А. Рихтером 3 VIII 1946)

Работами Чирикова⁽¹⁾, Иенни и Оверстрит⁽²⁾, Шленкера⁽³⁾ и др. установлено, что ионы минеральных питательных веществ, находящиеся в адсорбированном состоянии, доступны корневой системе растений. Однако механизм этого процесса еще далеко не выяснен.

В настоящей работе приводятся данные, позволяющие выдвинуть предположение о большом значении в минеральном питании растений органических поверхностно-активных корневых и бактериальных выделений.

Опыт 1. В 3-литровые сосуды, наполненные питательной смесью Гельригеля, вносилось по 60 г активированного угля на каждый сосуд (контролем служили сосуды без угля). После 48 часов, в течение которых уголь находился в растворе, из всех сосудов была взята первая проба равновесной прозрачной жидкости, в которой определялось содержание Са. По разности между количеством Са, бывшем в сосудах до внесения угля, и количеством Са в этих же сосудах после 48 часов нахождения в них угля определялась потеря Са из раствора. После взятия первой пробы в сосуды высаживались 10-дневные проростки овса, которые затем выращивались на несменяемом растворе в присутствии угля в течение 30 дней. В конце этого периода из всех сосудов была взята вторая проба равновесной прозрачной жидкости, в которой также определялось содержание Са. Разность между количеством Са, бывшего в растворе в момент посадки растений в сосуды и через 30 дней роста их, должна показать величину поглощения Са растениями. Эти данные весьма интересны. В сосудах с углем после 30 дней роста растений в растворе вместо ожидаемого уменьшения количества Са, вследствие поглощения его растениями, как это имело место в контроле, мы обнаружили прибавление Са в растворе.

Возможность появления излишка Са в сосудах в результате экзосмоса из растений снимается, поскольку в контрольных сосудах этого не наблюдалось.

Появление Са в растворе возможно в результате активного вытеснения адсорбированного Са с поверхности угля корневой системой. Процесс этот, как можно предполагать, идет следующим образом: при адсорбции активированным углем поверхностно-активных веществ из водных растворов микропоры углей, обладающие по отношению к этим веществам высоким адсорбционным потенциалом, заполняются выталкиваемыми из полярной водной фазы молекулами органического вещества, при этом ранее адсорбированные там ионы вытесняются из микропор в раствор^(4,5). Это явление наблюдается в наших опытах

в сосудах без растений. При внесении в эти сосуды, содержащие раствор нормальной смеси Гельригеля и активированный уголь, изоамилового спирта в равновесном растворе появлялся вытесненный из угля ранее адсорбированный им Са.

В нашем опыте корневая система растений находится в единой водной фазе с углем; с поверхности корней в раствор постоянно поступает ток корневых выделений (11). Бактерии, окружающие корневые волоски близко прилегающим чехлом ризосферы, потребляют корневые выделения и в обычных условиях недостатка кислорода перерабатывают их в различные промежуточные продукты разложения, обладающие поверхностной активностью. Адсорбируясь углем, они вытесняют ранее адсорбированные им ионы в раствор, чем помогают корневому волоску в питании адсорбированными минеральными веществами, находящимися в микропорах угля и непосредственно корневым волоскам недоступными.

Таким образом, корневые выделения растений и промежуточные продукты разложения их бактериями ризосферы, обладающие поверхностной активностью, являются одним из приспособлений, с помощью которого адсорбированные минеральные элементы могут становиться доступными корням растений.

Факты, полученные в приводимых ниже опытах 2 и 3, принимаются нами как косвенное подтверждение поверхностной активности

Схема опыта	Вес надземной части свежего растения в г на сосуд	Вес растения в %
Песок + смесь Гельригеля (контроль)	26,2	100
Песок + смесь Гельригеля + сырой уголь (1 г на сосуд)	34,0	130

корневых и бактериальных выделений и, вместе с тем, показывают и вторую, тормозящую минеральное питание растений, сторону их действия.

Опыт 2. В 3 кг навески чистого кварцевого песка, удобренного нормальной смесью Гельригеля, вносилось по 1 г пылевидного сырого угля (первичный продукт обугливания древесины), который тщательно перемешивался со всем песком. Полученной смесью набивались стеклянные сосуды, контролем служили сосуды без угля. В приготовленный субстрат высевались семена салата. При достижении технической спелости растения срезались и взвешивались.

Данные таблицы показывают, что незначительные дозы сырого угля повысили урожай. Какое свойство угля послужило причиной этого? Сырой уголь является плохим адсорбентом минеральных веществ. Внесенные в сосуды малые дозы угля практически не оказывают влияния на концентрацию и соотношение минеральных питательных элементов в субстрате. Наряду с этим сырой уголь хорошо адсорбирует органические поверхностно-активные вещества. В нашем опыте 1 г сырого угля адсорбировал из 0,1 N раствора уксусной кислоты 1,7 миллимолей ее. В нашем опыте применялся чистый промытый кварцевый песок, свободный от органических веществ. Следовательно, источником их могли быть только корневые и бактериальные выделения, которые в сосудах без адсорбента подавляли минеральное питание растений, так как, адсорбируясь на активной поверхности коллоидов корней, частично блокировали ее. В сосудах с углем поверхностно-активные вещества адсорбировались им. В результате, тормозящие вещества выводились из сферы действия корневого волоска. Условия минерального питания улучшались, урожай возрастал. Это предпо-

жение о причинах повышения урожая может получить некоторое подтверждение в опыте 3.

Опыт 3. Эксперимент был поставлен с целью выяснить влияние угля на поглощение растениями минеральных веществ из водного раствора питательной смеси Гельригеля.

Методика работы. В 3-литровые сосуды с раствором смеси Гельригеля вносилось по 5 г активированного угля и по методике, описанной в опыте 1, изучалось поглощение растениями Ca, P₂O₅ и Cl.

Влияние малой дозы активированного угля на количественный состав минеральных солей, находящихся в растворе, невелико. Вместе с тем эта же доза угля в состоянии адсорбировать значительные количества поверхностно-активных органических веществ.

Результаты проведенного опыта показали, что в сосудах с углем растения вывели из раствора больше Ca, P₂O₅ и Cl, нежели из контрольных сосудов без угля.

Какова возможная причина этого явления? В водном субстрате, окружающем корневую систему, в процессе жизнедеятельности растений накапливаются органические вещества, корневые выделения и промежуточные продукты бактериального разложения их. В сосудах без угля эти вещества в первоначальном процессе минерального питания растений, обладая поверхностной активностью, преимущественно адсорбируются на активной поверхности корней, блокируют ее в меру своей концентрации и затормаживают этим дыхание и поступление минеральных веществ. В сосудах же с активированным углем поверхностно-активные органические вещества адсорбируются им. Активная адсорбционная поверхность клеток корня при этом освобождается, жизнедеятельность корней и поступление в них элементов минерального питания усиливаются. Высказанное соображение подтверждается опытами Колосова (6), который вносил в питательный субстрат антисептики метил-этилкетон и изобутиловый спирт. Они заметно уменьшали поглощение корнями NH₄ и PO₄. Автор объясняет это вредное действие тем, что антисептики (поверхностно-активные вещества) блокируют поглощающую поверхность и подавляют интенсивность дыхания и жизнедеятельность корней.

Приведенные факты позволяют нам отметить двоякую роль поверхностно-активных корневых и бактериальных выделений: 1) в присутствии адсорбентов они полезны как вытеснители адсорбированных ионов и молекул электролитов; 2) в отсутствие адсорбентов они вредны, так как блокируют активную адсорбционную поверхность корней.

Единая природа обменной адсорбции на угле и почве позволяет сделать попытку переноса полученных нами данных на взаимоотношение растений с почвой. Мы полагаем, что в почве возможен процесс питания растений адсорбированными ионами аналогично вышеописанному, а именно: корневой волосок прилегает к почвенной частице, расстояние между ними в определенных пределах не изменяет существа обменной адсорбции минерального питания на корнях. Важно, чтобы в единую водную фазу были соединены силами сцепления водные оболочки корневого волоска, почвенной частицы с ее заполненными водой микропорами и водные оболочки бактерий ризосферы. Корневые волоски выделяют в единую водную фазу корневые выделения, которые непосредственно, в случае тесного контакта или после переработки их бактериями (это особенно относится к сахарам), диффундируют через водную фазу в микропоры почвенной частицы, заполняя ее, вытесняя при этом адсорбированные там минеральные ионы, последние диффундируют через единую водную фазу до поверхности корневого волоска, где адсорбируются им в обмен на эквивалентное количество образуемых в процессе дыхания H и HCO₃-ио-

нов. Возможность такого процесса подтверждается рядом литературных данных. В опытах Лобанова (7) изоамиловый и октиловый спирты, будучи внесены в почву, вытесняли адсорбированную в ней фосфорную кислоту.

По данным Буткевича (8) и др., антисептики фенол, бензол и другие поверхностно-активные вещества, внесенные в почву, оказывают положительное влияние на мобилизацию питательных веществ, т. е. переводят их из адсорбированного состояния в почвенный раствор.

Присутствие в почве, кроме корневых выделений, и других источников углеродного питания бактерий (остатки растений, навоз и др.) должно улучшать минеральное питание растений в связи с появлением добавочного количества поверхностно-активных органических веществ.

Лаборатория физиологии растений
и микробиологии Сельскохозяйственной
академии им. К. А. Тимирязева

Поступило
3 VIII 1946

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ф. В. Чириков, Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ, 8, 1913, стр. 300. ² H. Jenpu u. R. Overstreet, Proc. Nat. Acad. Sci., 24, №9, 384 (1938). ³ E. S. Schlenker, Soil Sci., № 1, 247 (1942). ⁴ А. В. Киселев и К. Д. Щербакова, ДАН, 45, № 6, 257 (1944). ⁵ В. К. Семенченко, Усп. хим., 3, в. 5, 736 (1934). ⁶ И. Колосов, Химизация соц. земледелия, № 8, 26 (1939). ⁷ Н. В. Лобанов, Химизация соц. земледелия, № 3—4, 45 (1932). ⁸ Применение антисептиков в целях повышения урожайности, под ред. В. С. Буткевича, М., 1939, стр. 20.