

А. ПЕТЕРБУРГСКИЙ

О ХАРАКТЕРЕ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ ЗА СЧЕТ ИОНОВ ИЗ АДСОРБЕНТОВ

(Представлено академиком Д. Н. Прянишниковым 5 III 1948)

До недавнего времени предполагали, что растения могут усваивать лишь те вещества, которые находятся в почвенном растворе. Поэтому ионы, содержащиеся в адсорбированном состоянии на коллоидальных частицах почвы, считались недоступными растениям до перехода (в результате обменных реакций) в раствор. Из этих представлений следовало, что если в среде, где развиваются корни, все питательные вещества будут сосредоточены на поверхности адсорбентов, а растворимых солей вовсе не окажется, то не должно иметь места и развитие растений, так как невозможными окажутся обменные реакции между ионами раствора и адсорбента.

Однако в последние годы опубликованы итоги опытов, показывающие, что отдельные ионы (калий, кальций и др.) могут усваиваться проростками из суспензии глин, насыщенных этими катионами (1, 2). Поскольку никаких солей к суспензиям не добавлялось, приходится допустить, что корни в состоянии самостоятельно осуществлять обменные реакции с адсорбентами*. Но может ли растение подобным путем удовлетворить свои потребности одновременно и в других катионах и анионах?

Предварительный опыт в этом направлении поставлен был автором еще в 1940 г. (3) с ячменем и овсом. Оказалось, что обе эти культуры могут развиваться при питании из адсорбированного состояния (в отсутствие растворимых солей) аммонием, калием, магнием и кальцием. Анализ урожая на К и N подтвердил доступность этих веществ растениям из адсорбента (пермутита), правда, значительно меньшую, чем из солевых растворов.

В дальнейшем автор поставил своей задачей провести опыт питания растений всеми основными катионами и анионами, предлагая их только в адсорбированном состоянии.

В первом опыте, в песчаных культурах, выращивались проростки подсолнечника (сорт Саратовский 169) в течение 24 дней. К, Са, Mg, NO₃, SO₄ и H₂PO₄ вносились в адсорбированном на амберлитах** состоянии; хлорное железо, борная кислота и серноокислый марганец да-

* Во всяком случае, предположение, что катионы, адсорбированные глинами и другими минералами, могут переходить в раствор вследствие гидролиза последних, не подтвердилось для большинства адсорбентов в наших опытах.

** Препараты из искусственных смол, адсорбирующие в зависимости от подготовки катионы или анионы.

вались в виде слабых растворов в обычных дозах*. Чтобы уяснить в случае плохого развития подсолнечника, какое из предложенных ему в адсорбированном состоянии питательных веществ недоступно, в схему опыта включены были варианты с заменой соответствующих амберлитов солями. Схема опыта и аналитические данные представлены в табл. 1 и 2. Они определенно говорят о том, что подсолнечник способен развиваться, питаясь всеми основными минеральными веществами из адсорбентов.

Таблица 1

Вес проростков подсолнечника (в г воздушно-сухого вещества на сосуд, среднее из 2 повторностей)

№№ сосудов	Варианты опыта		Вес проростков в г
	внесено в адсорбиров. форме	внесено в растворе	
1, 2	NO_3^- , SO_4^{--} , H_2PO_4^- , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++}	FeCl_3 , H_3BO_3 , MnSO_4	$2,45 \pm 0,04$
3, 4	То же, кроме Ca^{++} и NO_3^-	То же + $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$3,55 \pm 0,03$
5, 6	То же, кроме Mg^{++} и SO_4^{--}	То же + MgSO_4	$2,77 \pm 0,09$
7, 8	То же, кроме K^+	То же + KCl	$2,62 \pm 0,02$
9, 10	То же, кроме H_2PO_4^-	То же + NaH_2PO_4	$2,42 \pm 0,17$
11, 12	То же, что в сосудах №№ 1,2, но в удвоенной дозе	То же, что в сосудах №№ 1,2	3,12

Таблица 2

Вынос питательных веществ подсолнечником (в м-эquiv. на сосуд, среднее из 2 повторностей)

Варианты опыта	N	K	Ca	Mg	SO_4	P_2O_5
Все питательные вещества, кроме микроэлементов, даны в виде амберлитов	$2,41 \pm 0,27$	$0,51 \pm 0,05$	$0,82 \pm 0,02$	$0,18 \pm 0,01$	$0,66 \pm 0,11$	$1,01 \pm 0,02$
То же, но Ca^{++} и NO_3^- даны не в амберлитах, а в виде соли	$4,52 \pm 0,18$	$0,72 \pm 0,10$	$2,07 \pm 0,25$	$0,84 \pm 0,15$	$0,96 \pm 0,02$	$1,16 \pm 0,11$

Всего в первом варианте опыта подсолнечником усвоено 5,59 м-эquiv. питательных веществ (из 19 м-эquiv., внесенных в сосуд). За исключением 0,66 м-эquiv. железа и микроэлементов, все ионы давались в адсорбированном состоянии. Отсюда по крайней мере 5 м-эquiv. их растение взяло из адсорбентов.

Во втором варианте опыта суммарный вынос питательных веществ подсолнечником достиг 10,27 м-эquiv., т. е. на 4,68 м-эquiv. больше. Это следствие обменных реакций, которые вызывались нитратом кальция (он дан был в количестве 6 м-эquiv. взамен ионов Ca и NO_3 в адсорбенте).

* Песок для этого и последующего опытов подвергался обработке концентрированной соляной кислотой для удаления всех растворимых примесей. Кислота затем отмывалась водой (до исчезновения реакции на хлор-ион). Такой песок ни в водной, ни в солевой вытяжках не давал реакции на кальций, сульфат и хлор-ионы.

Второй опыт проведен был также в песчаных культурах с пшеницей Персикум, которая выращивалась до полного созревания семян. Железо, бор и марганец попрежнему вносились в виде солей, а все остальные питательные вещества или в адсорбированной амберлитами форме, или в растворах. Схема опыта представлена в табл. 3. Через 3 недели после появления всходов, когда уже видно было, что пшеница растет примерно одинаково по смеси солей и амберлитам, сосуды №№ 3, 4 и 7, 8 подверглись промыванию дистиллированной водой (в процессе промывания количество жидкости, отвечающее оптимальной влажности песка в сосудах, обновилось 4 раза).

Т а б л и ц а 3

У р о ж а й п ш е н и ц ы П е р с и к у м (в г на сосуд, среднее из 2 повторностей)

№№ сосудов	Варианты опыта	Зерно	Солома
1, 2	Нормальная солевая смесь	7,15±0,99	19,13±0,33
3, 4	То же, но через 21 день после всходов сосуды промыты 3 л дистиллиров. воды	0,46±0,29	5,48±1,28
5, 6	Все питательные вещества, кроме микроэлементов, даны в адсорбированной форме в виде смеси амберлитов	3,70±0,74	9,78±0,33
7, 8	То же, но через 21 день после появления всходов сосуды промыты 3 л дистиллиров. воды	3,03±0,27	9,05±1,00
9, 10	0,5 N солевая смесь	2,95±0,30	10,85±0,70
11, 12	0,5 дозы всех питательных веществ, кроме микроэлементов, дано в адсорбированной форме в виде смеси амберлитов	0,75±0,27	4,70±0,95

Анализы средних проб промывной жидкости показывают близкие величины кислотности (рН) для обоих вариантов опыта. Различия же в количестве вымытых водой веществ были весьма велики: очень много из сосудов №№ 3, 4 и совсем мало из сосудов №№ 7, 8.

Последствия промывки по-разному проявились на растениях из обоих вариантов опыта: наблюдалось резкое ухудшение роста пшеницы в сосудах №№ 3, 4 и не отмечено почти никакого изменения к худшему в сосудах №№ 7, 8.

Учет урожая представлен в табл. 3. Вес зерна и соломы в сосудах №№ 1, 2 (с нормальной солевой смесью) был почти вдвое больше, чем в сосудах №№ 5, 6 (все питательные вещества, кроме микроэлементов, в адсорбированной форме). Промывание водой катастрофически снизило урожай (особенно зерна) в сосудах №№ 3, 4 (солевая смесь), но почти не отразилось на урожае в сосудах №№ 7, 8 (адсорбенты).

Вынос азота и зольных элементов урожаем пшеницы представлен в табл. 4. Общее количество питательных веществ, унесенных пшеницей из сосудов №№ 1, 2, достигает 55,9% от внесенного; для сосудов №№ 5, 6 (адсорбенты) эта величина составляет 25,9%.

Но меньшая доступность растениям ионов из адсорбентов вовсе не то же самое, что полная их неусвояемость, как принято было считать до сих пор. Правда, железо, бор и марганец в наших опытах добавлялись в растворимом состоянии. Они могли вызывать обменные реакции и тем переводить часть адсорбированных ионов в раствор. Однако нельзя забывать, что мы давали железа и обоих микроэлементов в сумме лишь 3,3 м-экв. на сосуд, в то время как макроэлементов 95 м-экв. Принимая даже, что все количество железа и микроэлементов поглощалось амберлитами и вытесняло в раствор другие ионы, мы все же получим менее $\frac{1}{7}$ того количества их, которое фактически усвоено пшеницей из адсорбентов (24,63 м-экв.).

Вынос питательных веществ урожаем пшеницы (в м-экв. на сосуд среднее из 2 повторностей)

№№ сосудов	Варианты опыта	N	K	Ca	Mg	SO ₄	P ₂ O ₅
1-2	Нормальная солевая смесь	18,30±3,14	12,35±1,11	7,16±0,07	2,35±0,05	6,03±0,02	6,95±0,48
5-6	Все питательные вещества, кроме микроэлементов, даны в виде адсорбентов	8,19±0,12	4,83±0,57	2,24±0,60	1,40±0,08	3,25±0,06	4,72±0,04

В песке после уборки урожая в водной вытяжке определялись рН и кальций. В сосудах №№ 5, 6 (адсорбенты) реакция оказалась кислее, а кальция в 10,5 раз меньше, чем в сосудах №№ 1, 2 (солевая питательная смесь).

В связи с этим дополнительно в солевой вытяжке (с нейтральным 1,0 N хлористым натрием) определялась потенциальная кислотность. Она была в 3 раза выше в сосудах с адсорбентами, нежели с солевой питательной смесью. Не говорит ли это о накоплении в адсорбентах водорода в обмен на отдаваемые растению катионы, ибо поглощение корневой системой ионов из твердой фазы непосредственно может иметь место, повидимому, только в обмен на H⁺ и HCO₃⁻ выдыхаемой угольной кислоты?

Агрохимическая опытная станция
им. Д. Н. Прянишникова
Тимирязевской сельскохозяйственной академии

Поступило
3 III 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. В. Петербургский, Доклады Тимирязевской с.-х. акад., в. 5 (1947).
² Е. И. Ратнер и Т. А. Акимочкина, Рефераты н.-и. работ биолог. отд. АН СССР за 1945 г., М., 1947. ³ А. В. Петербургский, Изв. АН СССР, сер. биол., в. 6 (1942).