

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Е. И. РАТНЕР и Т. А. АКИМОЧКИНА

**ОБРАЗОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ В РАСТЕНИЯХ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ПИТАНИЯ КАТИОНАМИ**

(Представлено академиком Н. А. Максимовым 12 II 1951)

Обмен органических кислот в растениях привлекает к себе в последнее время все большее внимание ввиду тесной взаимосвязи его с такими важнейшими физиологическими процессами в растительном организме, как дыхание, синтез азотистых соединений, поглощение ионов извне и т. д. (1-6).

Нашими предыдущими исследованиями показано исключительное значение для обмена органических кислот в растениях источника катионов, предоставляемого корням (?). Питание растений катионами за счет использования

адсорбционно - связанных (обменных) катионов почвы приводило к значительно большему накоплению органических кислот в растениях, чем питание их за счет катионов, поглощаемых в тех же или близких количествах из растворов нейтральных солей (хлоридов или сульфатов).

Объяснение этим фактам дано было, с одной стороны, исходя из особенностей механизма поглощения растениями питательных веществ из раствора солей и из адсорбционно-связанного состояния в почве, и, с другой, исходя из анализа условий внутриклеточного связывания катионов, поступающих в растение из внешней среды.

В какой мере установленная нами закономерность применима ко всем катионам, поглощаемым растениями из почвы в значительных количествах? Ответ на этот вопрос можно получить из опыта, результаты которого изложены в табл. 1. Опыт этот проводился в песчаных культурах на фоне несколько измененной питательной смеси Прянишников (замена хлористого калия сернокислым). В добавление к питательной смеси на сосуд в 6 кг песка вносилось до 48 м-экв. (милли-

Таблица 1

Влияние источника катионов на содержание сахаров и органических кислот в листьях сахарной свеклы

Варианты опыта	Сумма сахаров в растениях в % на сух. веш.	Сумма органич. кислот в м-экв. на 100 г сух. веса
Питат. смесь Прянишникова	11,18	39,2
То же + 48 м-экв. CaCl ₂ .	7,25	26,0
" + 48 " NaCl .	7,22	17,2
" + 48 " MgCl ₂ .	6,20	18,0
" + 48 " KCl . .	8,22	20,0
" + NaCl + CaCl ₂ + MgCl ₂ + KCl по 12 м-экв.	8,59	12,0
То же + почва, насыщенная на 100% Ca	14,57	60,0
То же + почва, насыщенная на 50% Na + 50% Ca	11,36	55,2
То же + почва, насыщенная на 50% Mg + 50% Ca	8,30	75,2
То же + почва, насыщенная на 50% K + 50% Ca	14,41	63,2

эквивалентов) различных катионов (кальция, натрия, калия или магния), в одних случаях в форме хлоридов, а в других в адсорбционно-связанной (обменной) форме на черноземной почве из Каменной Степи.

В качестве опытного растения взята была сахарная свекла. Растения взяты были для анализа на содержание сахаров и общей суммы органических кислот в 39-дневном возрасте.

Как видно из табл. 1, установленная нами закономерность подтверждается на всех без исключения катионах: образование органических кислот в растениях значительно повышалось при внесении катионов в адсорбционно-связанной форме. Внесение же их в форме хлоридов в условиях опыта даже снижало содержание органических кислот по сравнению с контролем. Наряду с этим из таблицы видно, что усиленное образование органических кислот не обязательно связано с добавочным расходом сахаров, так как в этом опыте оно наблюдается и на фоне повышения содержания сахаров в растениях. Добавочное образование органических кислот обязано здесь, повидимому, не усилению окислительных процессов, а недоокислению углеводов.

В отношении изложенного опыта, так же как и в отношении опытов, ранее опубликованных, может быть сделано то возражение, что наблюдавшийся в них эффект обязан не различиям в источнике катионов, предоставляемого растениям, а различиям в реакции среды (рН), создающейся в корнеобитаемой среде при внесении катионов в форме нейтральных солей и в форме адсорбционно-связанной. Такие различия в величине рН, на основании некоторых данных, имеющих в литературе (2), могли как будто оказать влияние на ход образования органических кислот в растениях в сторону повышения его

Таблица 2

Влияние источника калия и рН среды на образование органических кислот в растениях

Варианты опыта (раствор, на который растения были помещены на 48 час.)	Сух. вес растений в г	Содержание калия в листьях в % на сух. веш.	Содержание суммы сахаров в % на сух. веш.	Содержание органич. кислот в % на сух. веш.
Вода	2,10	1,06	22,7	15,0
Раствор KCl (рН 5,0)	2,03	2,57	20,8	17,6
Суспензия К-почвы				
рН 5,0	2,19	2,12	22,5	31,4
рН 6,0	2,15	2,34	22,5	40,0
рН 6,9	2,20	2,48	22,8	38,6
рН 7,8	2,23	2,42	22,0	38,4

Таблица 3

Влияние рН среды на образование органических кислот в растениях

Варианты опыта (раствор, на который растения были помещены на 48 час.)	Сух. вес растений в г	Содержание сахаров в % на сух. веш.	Содержание суммы органич. кислот в м-экв. на 100 г сух. веш.	Содержание калия в % на сух. веш.	Содержание фосфора в % на сух. веш.
Вода	2,10	22,7	15,0	1,06	0,52
KH_2PO_4	2,05	21,3	32,6	2,54	0,94
K_2HPO_4	2,11	18,6	55,0	3,50	0,68

при более высоких значениях рН. В своем месте (8) нам уже приходилось подвергнуть критике эти представления о самостоятельном влиянии рН на образование органических кислот в растениях. Приведем здесь некоторые экспериментальные данные по этому вопросу.

В табл. 2 приведены результаты опыта с проростками озимой пшеницы Московская 2411, выращенными на разбавленной смеси Гельригеля на водопроводной воде. В 14-дневном возрасте растения помещены были на 48 час. на суспензию той же черноземной почвы, лишенной всех обменных катионов промыванием 0,05 N HCl и далее насыщенным калием из раствора КОН до величины равновесного рН суспензии от 5,0 до 7,8. В одном из вариантов опыта растения помещались на раствор KCl, имевший рН около 5,0. Калий во всех случаях давался из расчета 100 мг на сосуд (см. табл. 2).

Из табл. 2 видно, что и при близких значениях рН (около 5) поглощение калия из адсорбционно-связанного состояния привело за 48 час. опыта к удвоению содержания органических кислот в растениях, между тем как поглощение калия из раствора KCl не привело к существенным изменениям в этом отношении. Далее из таблицы видно, что величина рН суспензии не имела решающего влияния на образование органических кислот.

Некоторое снижение при рН около 5 должно быть объяснено некоторым снижением количества поглощенного растением калия при этой величине рН.

Приведем далее в табл. 3 дополнительные данные, полученные в том же опыте с проростками пшеницы, свидетельствующие в пользу нашего утверждения о том, что и при поглощении катионов из солевых растворов с различным рН решающее влияние на образование органических кислот в растениях имеет не величина рН сама по себе, а обусловленные ею изменения в относительной интенсивности поглощения растениями катионов и анионов из внешней среды. Для решения этого вопроса мы воспользовались двумя удобными для этой цели источниками калия для растений — раствором KH_2PO_4 , имевшим рН около 4,5, и раствором K_2HPO_4 , имевшим рН около 8,9.

Из цифр табл. 3 видно, что на растворе щелочного фосфата калия образование

Таблица 4

Влияние источника катионов на химический состав растений махорки (а — листья, б — черешки, в — стебли)

Источник калия	Сух. вес в г на сосуд			Содерж. сахаров в листьях в %			Содерж. суммы органич. кислот в м-экв. на 100 г сух. веш.			Содержание К в %			Содержание Са в %			Содержание Cl в %			Содержание SO_4 в %			Содерж. фосфора в листьях в %
	а	б	в	а	б	в	а	б	в	а	б	в	а	б	в	а	б	в				
KCl	31,9	5,76	128,9	103,3	101,0	1,37	2,47	1,64	4,49	3,43	1,87	0,91	2,99	1,23	2,68	0,78	0,81					
K-Са-почва	27,2	7,36	168,0	190,3	108,2	1,35	2,15	1,17	4,02	3,59	1,53	0,20	0,46	0,45	3,45	0,95	0,83					

органических кислот шло действительно значительно интенсивнее, чем на растворе кислого фосфата. Однако внимательный анализ изложенных в таблице данных по поглощению растениями ионов калия и фосфат-ионов из этих растворов ясно показывает, что существо этого влияния рН должно быть объяснено косвенным его воздействием на относительную интенсивность поглощения катиона и аниона из названных солей. В случае щелочного фосфата поглощение катиона сильно опережало поглощение аниона, что и обусловило повышенное образование органических кислот в растениях.

Метод кратковременного взаимодействия дает наиболее ясную картину непосредственного влияния тех или иных условий питания на обмен веществ в растениях, в данном случае на образование органических кислот. В длительных опытах этот первоначальный эффект может быть осложнен рядом привходящих обстоятельств. Однако в основном установленные нами закономерности сохраняют свое значение и в длительных опытах. Примером для иллюстрации этого положения могут послужить наши дальнейшие опыты с махоркой, культурой, для которой вопрос об обмене органических кислот представляет и практический интерес в связи с использованием ее для получения лимонной кислоты.

В опыте, результаты которого приведены в табл. 4, махорка сорта Ермаковка выращивалась в песчаных культурах на фоне питательной смеси Прянишниковая. При этом в одном случае калий вносился в форме KCl , а в другом случае он вносился в адсорбционно-связанном состоянии на черноземной почве, насыщенной на 20% от ее емкости обмена калием и на 80% кальцием, при рН около 6,8. Для выравнивания условий рН в обоих названных вариантах опыта в сосуды, вмещавшие по 8 кг песка, вносилось в качестве буфера по 400 г той же черноземной почвы, полностью насыщенной кальцием при рН около 6,8. Общее количество почвы было также выравнено в обоих вариантах опыта (там, где почва вносилась в качестве источника обменного калия, соответственно уменьшалось количество почвы, вносимой в качестве буфера).

Растения убирались в зрелом возрасте и подвергались анализу на содержание сахаров, органических кислот и минеральных веществ (см. табл. 4).

Из табл. 4 видно, что образование органических кислот в махорке заметно стимулировалось внесением калия в адсорбционно-связанной форме. Отсюда напрашивается практический вывод, что при возделывании махорки для получения лимонной кислоты целесообразно вносить калийные удобрения с осени с тем, чтобы ко времени посева хлор был вымыт в глубокие слои почвы, а калий оставался в поверхностных слоях в адсорбционно-связанном состоянии.

Данные табл. 4 подтверждают также отмеченные нами ранее (?) существенные изменения в поглощении сульфатов растениями в зависимости от предоставленного им источника катионов.

Институт физиологии растений
им. К. А. Тимирязева
Академии наук СССР

Поступило
12 II 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. Н. Прянишников, Юбил. сборн. АН СССР к 30-летию Великой Октябр. Социал. Револ., 2, 1947. ² А. В. Владимиров, Физиологические основы применения азотистых и калийных удобрений, 1948. ³ Н. С. Туркова, Сборн. работ памяти акад. Д. Н. Прянишникова, 1950. ⁴ Л. К. Островская и А. С. Оканенко, Научные труды Института физиологии растений и агрохимии Акад. наук УССР, № 1—2 (1948). ⁵ С. С. Баславская, Бюлл. Моск. о-ва испытат. природы, отд. биол., 51, № 2 (1946). ⁶ A. Ulrich, Am. Journ. of Bot., 29, № 3 (1942). ⁷ Е. И. Ратнер и Т. А. Акимочкина, Изв. АН СССР, сер. биол., № 3 (1949). ⁸ Е. И. Ратнер, Сов. книга, № 8 (1949).