

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Е. И. РАТНЕР

**О СОСТОЯНИИ КАЛИЯ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ТКАНЯХ**

(Представлено академиком Н. А. Максимовым 23 VII 1948)

Если в отношении кальция, магния, натрия имеется ряд экспериментальных доказательств о нахождении их в растительных тканях частично в связанном состоянии (1-4, 6), то в отношении калия имеющиеся данные противоречивы.

Большое число работ, проведенных с разными растениями, показало, что, в отличие от других катионов, калий может быть практически нацело извлечен из тонко измельченных растительных тканей путем простого настаивания их с холодной водой (2-7), или же может быть полностью обнаружен в клеточном соке (8). Отсюда следовал вывод, что весь калий находится в растениях в растворимом состоянии в клеточном соке. Такой вывод не вязался, однако, с совокупностью современных представлений о механизме поглощения растениями минеральных веществ из внешней среды. Эти представления, отводящие большое место первоначальному связыванию катионов на клеточных структурах, подсказывали вывод, что калий не должен составлять исключения среди других катионов и в некоторой части должен находиться в клетке в связанном (адсорбированном) состоянии.

Действительно, в противовес приведенному выше утверждению об отсутствии в растениях связанного калия, некоторыми исследователями были получены данные, показывающие наличие в растениях не извлекаемого водой или не обнаруживаемого в клеточном соке калия, принимаемого ими за адсорбированный (9, 10).

Ввиду большого принципиального значения вопроса о состоянии калия в растительных тканях и противоречивости имеющихся данных, мы провели некоторые исследования с целью разобраться в этих противоречиях.

Попытки обнаружить в растениях какой-нибудь не извлекаемый водой калий не привели к успеху. При широком отношении воды к навеске растительного материала калий, в отличие от кальция, практически полностью извлекался из растений холодной водой. Из большого числа опытов, проведенных с разными растениями, разного возраста, в разных условиях (свежий и высушенный материал) и давших однозначные результаты, приведем соответствующие данные для ячменя и периллы, выращенных в водных культурах на смеси Гельригеля и взятых в анализ в фазе цветения (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что взятые растения содержали значительную часть кальция в адсорбированном состоянии, между тем как калий во всех случаях практически полностью извлекался водой.

Приведенные данные, так же как и данные других авторов по анализу водных вытяжек из растений, не могут, однако, считаться достаточными для решения интересующего нас вопроса. Учитывая высокую подвижность калия в растительных тканях, можно было допустить, что связь его со структурными элементами клетки

Таблица 1

Фракции Са и К	Я ч м е н ь						П е р и л л а					
	Корни		Стебли и листья		Колосья		Корни		Стебли		Соцветия	
	Са	К	Са	К	Са	К	Са	К	Са	К	Са	К
Общее содержание (в г на 100 г сухого веса) . .	3,52	0,70	0,74	2,39	0,184	1,45	0,58	—	1,68	1,49	1,27	2,94
Извлекаемого водой . . .	0,29	0,64	0,52	2,36	0,115	1,30	0,10	3,22	0,65	1,52	0,47	2,76
Не извлекаемого водой, но извлекаемого 1 N раствором NaCl (адсорбир.) .	0,73	0,04	0,22	0,04	0,078	0,03	0,36	0,14	0,53	0,04	0,69	0,06
Всего подвижного (воднораств. + адсорбир.) . . .	1,02	0,68	0,74	2,40	0,193	1,33	0,46	3,36	1,18	1,56	1,16	2,82
Подвижного в % от общего	29	97	100	100	105	92	79	—	70	104	91	96
Адсорбированного в % от всего подвижного . . . .	72	6	30	0	40	2	79	4	45	2	60	2

настолько лабильна, что легко нарушается при обработке материала большим избытком воды. Более правильным нам представлялось суждение о состоянии калия в растениях на основании анализа клеточного сока. Для этих целей можно считать надежным метод получения сока из растений, убитых замораживанием, так как из таких растений, даже без применения высокого давления, удается получить жидкость с устойчивой концентрацией калия<sup>(11)</sup>, из которой можно исходить для расчета содержания растворимого калия в растении<sup>(10)</sup>.

Указанным методом были проведены анализы проростков ячменя Винер 01163, которые выращивались в течение 10 дней на водопроводной воде, а затем помещались на 48 час. в одном случае на дистиллированную воду, а в другом на раствор KCl. Эти два варианта были взяты, исходя из данных Филлиса и Мэзона<sup>(3)</sup> об изменении „индекса распределения“ калия (отношение адсорбированного калия к сумме адсорбированного и растворимого в соке) в зависимости от богатства растений этим катионом.

Содержание калия в листьях учитывалось двояким путем: 1) путем анализа сока, отжатого на прессе из листьев, убитых замораживанием при  $-16^{\circ}$ , с последующим пересчетом на общее содержание воды в навеске, и 2) путем анализа водной вытяжки, полученной после суточного настаивания при комнатной температуре навески растертых свежих листьев с водой при широком отношении воды к сухому веществу (равном около 150) и последующим 5-кратным промыванием материала на фильтре небольшими порциями воды. Водная вытяжка, так же как и сск, освобожденные от взвешенных частиц фильтрованием через фильтры Зейтца, выпаривались затем на водяной бане; для превращения в хлориды сухой остаток прокаливался и обрабатывался соляной кислотой.

Растительный материал после водной вытяжки обрабатывался 1 N раствором NaCl для учета не извлеченного водой адсорбированного калия. Результаты приведены в табл. 2 (содержание калия в мг на 100 г сырого веса листьев).

Из табл. 2 ясно видно, что если в водной вытяжке обнаруживается практически весь содержащийся в растениях калий, то в клеточном соке он обнаруживается далеко не полностью; некоторая часть его находилась в листьях в связанном состоянии и в клеточный сок не переходила.

Следует подчеркнуть, что приведенные цифры для связанного калия являются скорее пониженными, так как данные по содержа-

нию калия в соке получены были, как указывалось, путем пересчета результатов анализа сока на общее содержание воды в навеске. За отсутствием надежных методов определения коллоидно-связанной воды в растениях, мы никаких поправок на связанную воду не вносили.

Таким образом, изложенный опыт с несомненностью показывает наличие в растениях значительной части содержащегося в них калия в лабильно-связанном, повидимому, в адсорбированном состоянии, легко нарушаемом уже при обработке тканей холодной водой.

Таблица 2

Варианты опыта	Калия, извлекаемого водой	Калия, извлекаемого 1 N раствором NaCl	Сумма (общее содержание)	Содержание в клеточном соке		Связанного калия	
				в мг	в % от общего	в мг	в % от общего
Вода . . . . .	102,4	0,6	103,0	77,3	75,1	32,7	24,9
Раствор KCl . . .	274,0	6,9	280,9	162,6	58,0	118,3	42,0

Из табл. 2 далее видно, что, в соответствии с данными Филлиса и Мэзона об „индексе распределения“ катионов, не только абсолютное, но и относительное содержание адсорбированного калия резко возрастает при повышении общего содержания этого катиона в растениях. Названные авторы заключили из этого факта, что адсорбированный калий характеризует собой форму избыточного потребления его растением. С этим положением трудно согласиться, так как в известных условиях адсорбированный калий может преобладать в растениях даже при весьма слабой обеспеченности их этим катионом. Покажем это на примере влияния натрия на состояние калия в растениях.

Проростки ячменя выращивались на смеси Гельригеля с явно годной дозой калия —  $\frac{1}{8}$  от нормы Гельригеля, при большом числе растений на сосуд небольшой емкости. В 11-дневном возрасте растения переносились на 48 час. на следующие среды: 1) на дистиллированную воду; 2) на суспензию черноземной почвы, насыщенной натрием и кальцием в отношении 7:3 при pH около 7,3; 3) на раствор  $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ , содержащий Na и Ca в количествах, отвечающих содержанию обменных форм этих катионов в почве предыдущего варианта (8,4 м.-экв. Na + 3,6 м.-экв. Ca в литре); 4) на раствор  $\text{NaCl} — 8,4$  м.-экв. в литре.

Через 48 час. опыта в навесках сырых листьев определялось общее содержание калия (извлечение 1 N раствором NaCl) и содержание его в клеточном соке, учитываемое описанным выше методом. Результаты анализов изложены в табл. 3 (мг калия на 100 г сырого веса листьев).

Из табл. 3 видно, что при одностороннем снабжении растений натрием (раствор NaCl или суспензия Na — Ca — почвы, в которой кальций для растений недоступен (<sup>12</sup>, <sup>13</sup>)), адсорбционные свойства клеточных коллоидов в отношении калия резко повышаются. Вследствие этого, даже у растений, бедных содержанием калия, этот катион в подавляющей своей части представлен связанной (адсорбированной) формой. Фактически в этом случае в соке содержалась, повидимому, весьма незначительная часть общего калия, так как поправка на коллоидно-связанную воду должна быть у растений, односторонне обогащенных натрием, выше, чем у контрольных растений, или у растений по уравновешенному раствору солей ( $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ ).

Решающее значение адсорбционных свойств клеточных коллоидов

Таблица 3

Варианты опыта	Общее содержание калия	Растворимого в соке		Связанного калия	
		в мг	в % от общего	в мг	в % от общего
Вода . . . . .					
Суспензия Na—Ca—почвы . . . . .	156,0	119,0	76,3	37,0	23,7
Раствор NaCl + CaCl <sub>2</sub> . . . . .	160,6	63,7	39,7	96,9	60,3
Раствор NaCl . . . . .	161,0	120,6	74,9	40,4	25,1
	168,1	61,8	36,8	106,3	63,2

для величины „индекса распределения“ калия в растениях выявилось не менее ярко в другом опыте, проведенном с сахарной свеклой в песчаных культурах.

На фоне питательной смеси Прянишникова в песок вносилось по 200 г той же черноземной почвы со следующим составом обменных катионов: 1) 100% Ca, 2) 50% Ca + 50% Na, 3) 50% Ca + 50% K. В 20-дневных растениях учитывалось затем содержание форм калия по методике, изложенной выше. Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4

Варианты опыта	Сырой вес 100 растений в г	Содержание калия в мг на 100 г сырого веса			В % от общего	
		растворимого в соке	связанного	всего (общее содержание)	растворимого в соке	связанного
Питат. смесь Прянишникова (контроль) . . . . .	193	530,7	90,8	621,5	85	15
То же + Ca—почва . . . . .	215	510,3	69,9	580,2	88	12
» + Na—Ca—почва . . . . .	183	166,7	73,5	240,2	69	31
» + K—Ca—почва . . . . .	206	652,3	196,3	848,6	77	23

Несмотря на снижение общего содержания калия в растениях по Na—Ca—почве в  $2\frac{1}{2}$  раза, „индекс распределения“ этого катиона оказался в них не только выше, чем у контрольных растений, но и заметно выше, чем у растений по K—Ca—почве, сильно обогащенных калием.

Таким образом, положение Филлиса и Мэзона о том, что высокий „индекс распределения“ калия характеризует собой избыточное потребление этого катиона, нельзя считать приемлемым.

Связывание калия в растении определяется адсорбционными свойствами клеточных коллоидов, которые могут быть коренным образом повышены под влиянием натрия, даже при низком общем содержании калия в растениях.

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

Поступило  
22 VII 1948

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup>S. Kostytshew и V. Berg, *Planta*, 8, 55 (1929). <sup>2</sup>Mc George, *Plant Phys.*, 7, 119 (1932). <sup>3</sup>E. Phillis and T. Mason, *Ann. of Bot.*, 4, 773 (1940).  
<sup>4</sup>М. С. Жуков, *Химиз. соц. землед.*, № 11—12, 62 (1940). <sup>5</sup>С. П. Костычев и П. Элиасберг, *Журн. Русск. бот. об-ва*, 5, 45 (1920). <sup>6</sup>A. R. Naas, *Bot. Gaz.*, 85, 334 (1928). <sup>7</sup>Ф. Украдыга, *ДАН*, 33, 297 (1941). <sup>8</sup>V. H. Morris and J. D. Saure, *Plant Phys.*, 10, 565 (1935). <sup>9</sup>И. И. Колосов, Ю. А. Самыгин и М. И. Сорокина, *Тр. Ком. по ирриг. АН СССР*, 8, 127 (1936).  
<sup>10</sup>T. Mason and E. Phillis, *Ann. of Bot.*, 50, 437 (1936). <sup>11</sup>T. C. Broeyer and D. R. Hoagland, *Am. J. of Bot.*, 27, 501 (1940). <sup>12</sup>Е. И. Ратнер, *Изв. АН СССР, сер. биол.*, 5—6, 1153 (1938). <sup>13</sup>Е. И. Ратнер, *Сборн., посвящ. памяти акад. Д. Н. Прянишникова*, 1948.