

## СООТНОШЕНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ И ВЫДЕЛЕНИЯ ФОСФОРА КОРНЯМИ РАСТЕНИЙ

Б. О. ОЙЕДЖОЛА, В. В. РАЧИНСКИЙ

(Кафедра прикладной атомной физики и радиохимии)

Ранее [1] была рассмотрена кинетика изотопнообменного выделения фосфора растениями. Показано, что эта кинетика имеет экспоненциальный характер с двумя составляющими — быстрой и медленной. Предполагается, что первая составляющая связана с выходом фосфора из свободного пространства тканей корня, а другая — характеризует его выход из клеток корня.

Однако изотопный обмен является двусторонним процессом, состоящим из поглощения и выделения данного элемента. В предыдущих опытах сопоставлялись прямые (поглощение) и обратные (выделение) потоки фосфора, т. е. массы немеченого фосфора, поглощенного растениями, и меченого, выделенного ими за это же время.

Данная работа — продолжение указанных

опытов. Объекты исследования — томаты и салат в разном возрасте, выращенные на растворе питательной смеси Кнопа с меченым ( $^{32}\text{P}$ ) фосфором. Определяли выделение  $^{32}\text{P}$  в раствор Кнопа ( $1/4$  нормы, в объеме 0,5 л), в дистиллированную воду и в раствор Кнопа с добавлением в качестве ингибитора динитрофенола (ДНФ,  $10^{-4}$  М на 1 л). Подробно методика проведения опыта описана в [1].

Обозначим через  $M_0$  исходную массу немеченого элемента в растворе, через  $M'$  — общую массу меченого и немеченого элемента в растворе к моменту окончания опыта — по истечении 48 ч. К этому времени практически прекращалось выделение меченого фосфора. Точнее, это был выход на чрезвычайно медленную стадию кинетики выделе-

Таблица 1

Определение соотношения выделенного меченого фосфора и поглощенного немеченого в опытах с томатами и салатом на  $1/4$  нормы Кнопа в объеме 0,5 л.  $M_0 = 4,53$  мг

Возраст растения, нед	$M_\infty$	$M_\infty^*$	$M_0 - M'_\infty +$ $+ M_\infty^*$	$\alpha$	Среднее
Томаты					
I серия					
4	3,60	0,032	0,90	0,036	$0,43 \pm 0,07$ $w = 15,1\%$
5	2,83	0,064	1,67	0,037	
6	3,65	0,046	0,83	0,055	
II серия					
1	4,37	0,009	0,15	0,060	$0,053 \pm 0,02$ $w = 3,7\%$
2	4,33	0,009	0,19	0,047	
3	3,95	0,028	0,55	0,051	
4	3,79	0,035	0,71	0,049	
5	3,58	0,048	0,90	0,053	
6	3,50	0,050	0,88	0,057	
Салат					
I серия					
4	3,48	0,040	1,01	0,039	$0,043 \pm 0,006$ $w = 14,2\%$
5	3,55	0,037	0,94	0,039	
6	3,47	0,057	1,01	0,052	
II серия					
1	4,45	0,006	0,07	0,085	$0,050 \pm 0,019$ $w = 35,2\%$
2	4,33	0,008	0,19	0,042	
3	3,94	0,028	0,56	0,050	
4	3,77	0,035	0,73	0,048	
5	3,60	0,041	0,89	0,046	
6	3,70	0,049	0,78	0,063	
По видам растений и сериям	—	—	—	—	$0,049 \pm 0,008$ $w = 16,3\%$

Таблица 2

Определение соотношения выделенного меченого фосфора и поглощенного немеченого фосфора в опытах с томатами и салатом. Опыт с добавлением  $10^{-4}$  М ДНФ.  $M_0 = 4,53$  мг

Возраст растений, нед	$M'_\infty$	$M^*_\infty$	$M_0 - M'_\infty + M^*_\infty$	$\alpha$	Среднее
	мг				
Томаты					
4	3,75	0,036	0,74	0,049	$0,049 \pm 0,01$ $w = 2,4\%$
5	4,05	0,024	0,46	0,052	
6	3,85	0,031	0,65	0,048	
Салат					
4	3,77	0,035	0,73	0,048	$0,053 \pm 0,002$ $w = 3,8\%$
5	4,11	0,023	0,40	0,057	
6	3,90	0,032	0,60	0,053	
По видам растений	—	—	—	—	$0,051 \pm 0,002$ $w = 3,9\%$

Таблица 3

Выделение меченого фосфора и поглощение немеченого фосфора корнями растений при переносе на питательный раствор 1/4 Кнопа, дистиллированную воду и на раствор с ДНФ

Возраст растений, нед	Выделено, $M^*_\infty$					Поглощено, $M_0 - M'_\infty + M^*_\infty$		
	1/4 Кнопа	дистиллированная вода		1/4 Кнопа + ДНФ		1/4 Кнопа	1/4 Кнопа + ДНФ	
	мг	мг	%	мг	%	мг	мг	%
Томаты								
4	0,035	—	—	0,036	103	0,71	0,74	104
5	0,048	—	—	0,024	50	0,90	0,46	51
6	0,050	0,004	8	0,031	60	0,88	0,65	74
Салат								
4	0,035	—	—	0,035	100	0,73	0,73	100
5	0,041	—	—	0,023	56	0,89	0,40	45
6	0,049	0,004	8	0,032	65	0,78	0,60	77

ния, которую экспериментально уже трудно контролировать. Масса немеченого элемента в растворе равна  $M'_\infty - M^*_\infty$ , а поглощенного немеченого элемента —  $M_0 - (M'_\infty - M^*_\infty)$ , где  $M^*_\infty$  — масса меченого элемента в растворе к 48 ч. Рассчитывали отношение массы выделенного в раствор меченого фосфора (обратный поток) к массе поглощенного немеченого фосфора (прямой поток) за 48 ч:

$$\alpha = \frac{M^*_\infty}{M_0 - M'_\infty + M^*_\infty} \quad (1)$$

Значения  $M_0$ ,  $M'_\infty$ ,  $M^*_\infty$  и  $\alpha$  приведены в табл. 1 и 2.

Как видно из табл. 1, отношение выделенного меченого фосфора к поглощенному немеченому (коэффициент  $\alpha$ ) в пределах ошибок измерений не зависело от возраста (1—6 недель) и вида растений (томаты и

салат) и составляло в среднем  $0,049 \pm 0,008$ , или округленно  $5 \pm 1\%$ .

Коэффициент  $\alpha$  не изменялся при переносе растений на раствор смеси Кнопа с добавкой  $10^{-4}$  М ДНФ (табл. 1 и 2). На основании этих данных можно заключить, что процессы поглощения растением фосфора и выделения этого же элемента из растения довольно жестко количественно сопряжены (постоянство коэффициента  $\alpha$ ). Для доказательства общности этой закономерности для всех элементов и видов растений необходимо расширение программы экспериментов.

Можно сделать также еще один определенный теоретический вывод, а именно: биологическая система питательная среда — растение согласно полученным данным в пределах возрастного интервала 1—6 недель не находится в так называемом стационарном состоянии, нет эквивалентности обмена фосфора, растение выделяет в среду

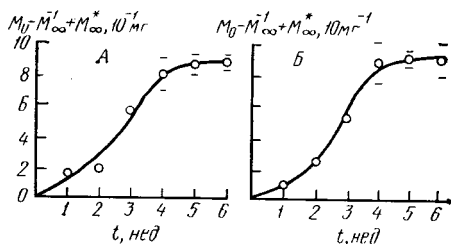


Рис. 1. Зависимость поглощения немеченого фосфора корнями томатов (А) и салата (Б) от возраста.

в 20 раз меньше фосфора, чем поглощает его за это же время из питательной среды, т. е. выделенной массой фосфора в общем фосфорном балансе можно пренебречь. Этот вывод имеет практическое значение. Напомним, что по условиям опыта в одном сосуде находилось по одному растению. Поэтому полученные абсолютные значения масс поглощенного и выделенного фосфора относятся к одному растению.

Как видно из рис. 1 и 2, кривые кинетики поглощения и выделения фосфора в онтогенезе растений подобны и весьма сходны с кривыми роста биомассы растений. За 48 ч одно растение томатов или салата в возрасте 5—6 недель поглощает около  $1,0 \pm 0,1$  мг и выделяет около  $50 \pm 10$  мкг фосфора.

Как видно из табл. 3, погружение корней томата и салата в дистиллированную воду приводит к значительному снижению выделения ими меченого фосфора, примерно в 10 раз по сравнению с выделением меченого фосфора в питательный раствор Кюпа. Этот эффект можно объяснить рядом причин.

Во-первых, при погружении корней в дистиллированную воду угнетающее физиологическое действие оказывает прекращение питания.

Во-вторых, в дистиллированной воде практически исключается процесс как ионного, так и изотопного обмена, поскольку в ней нет анионов (концентрация ионов гидроксидов очень мала), в том числе фосфат-ионов. Резкое уменьшение выделения меченого фосфора показывает, что в процессе выделения существенную роль играют ионообменные процессы. При наличии во внешней питательной среде анионов во внешний раствор выделяются фосфат-ионы из ионообменного фонда за счет реакций ионного

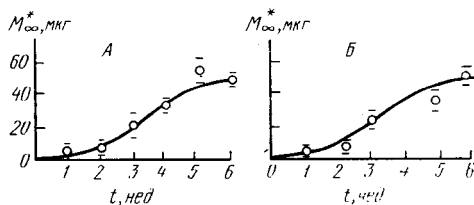


Рис. 2. Зависимость выделения меченого фосфора от возраста.

Обозначения те же, что на рис. 1.

обмена, скорость которых имитируется скоростью диффузии ионов.

В-третьих, уменьшение выделения меченого фосфора в варианте опыта с дистиллированной водой может быть обусловлено мобилизацией относительно свободных обменных фондов фосфора в корнях на процессы биосинтеза.

Изучение влияния ингибитора дыхания ДНФ на поглощение и выделение фосфора корнями растений дало менее отчетливые результаты. Из табл. 3 следует, что у 4-недельных растений вообще не наблюдалось ингибирования поглощения и выделения фосфора, у 5—6-недельных — в среде с ДНФ они уменьшались примерно на 30—50%. Полученные в опыте данные могут свидетельствовать о том, что поглощение немеченого фосфора и выделение меченого фосфора связаны в какой-то мере с затратой метаболической энергии, однако, по-видимому, не полностью, поскольку эти процессы все-таки не прекращаются и сама кинетика поглощения и выделения не нарушается.

Можно высказать предположение, что поглощение и выделение фосфора происходит по смешанному механизму физико-химического и метаболического обмена.

### Заключение

При изучении изотопного обмена фосфора в опытах с томатами и салатом в системе (растение,  $P^*$ )  $\rightleftharpoons$  (P, питательный раствор) установлено, что отношение масс выделенного меченого фосфора к поглощенному немеченому фосфору при нормальных условиях питания не зависит от возраста растений (в пределах 6 недель) и вида растений (томаты, салат) и составляет около 5%. Перевод растений на среду с добавкой ингибитора дыхания — ДНФ не приводит к изменению рассматриваемого соотношения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рачинский В. В., Ойеджола Б. О. Кинетика изотопного обмена фосфора между корнями растений и питатель-

ной средой. — Изв. ТСХА, 1979, вып. 4, с. 93—99.

Статья поступила 18 декабря 1978 г.

### SUMMARY

It is established in the study of isotope phosphorus exchange in trials with tomatoes and lettuce in the system (plant,  $P^*$ )  $\rightleftharpoons$  (P, nutrient solution) that the ratio of the masses of secreted labelled phosphorus to absorbed non-labelled phosphorus does not vary under normal feeding conditions with the age of plants (within 6 weeks) and plant species (tomatoes, lettuce) and makes about 5%. Putting the plants on the medium with supplements does not cause any change in the ratio.