

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

В. И. БАРАНОВ

**ОБ УСВОЕНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАСТЕНИЯМИ**

(Представлено академиком В. И. Вернадским 24 V 1939)

Опытов по изучению влияния радиоактивных элементов на рост и развитие растений было проделано весьма большое количество. Однако в результате этих опытов мы не имеем достаточно четкого ответа на два основных вопроса, представляющих большой интерес для практического использования радиоактивных веществ как удобрений: 1) какая доза является наиболее благоприятно действующей для различных культур и возможна ли замена одного радиоэлемента другим; 2) в какой степени концентрирует растение различные радиоэлементы из питательной среды.

В настоящей работе дается попытка подвести итог результатам опытов по выращиванию некоторых культурных растений на питательных средах с добавкой радиоактивных веществ, проведенных в 1936—1938 гг. совместно Биогеохимической лабораторией Академии Наук СССР и лабораторией акад. Д. Н. Прянишникова в ТСХА, с вышеуказанной точки зрения <sup>1</sup>.

В качестве подопытного растения был использован в большинстве опытов горох *Pisum sativum*, далее были произведены опыты с салатом *Lactuca sativa*, с огурцами *Cucumis sativus*, льном *Linum usitatissimum* и овсом *Avena sativa*.

Растения выращивались в водных или песчаных культурах в стеклянных сосудах с питательной смесью Гельригеля, с добавкой бора. На этом фоне, служившем контролем, добавлялись радиоактивные вещества Ra, U, Ac в различных количествах, причем, как правило, для каждой концентрации радиоэлементов отводилось 4 параллельных сосуда.

Для выяснения вопроса о том, как относится растение к двум различным элементам—изотопам Ra и Th, присутствующим одновременно, в 1938 г. был поставлен опыт с салатом *Lactuca sativa*, выращенным на такой же питательной водной смеси в литровых фарфоровых стаканах с добавлением препарата Ra—MsTh(I+II)—RdTh в следующих количествах:

		На сосуд в г	В %		На сосуд в г	В %
Опыт 1 . . . . .	Ra	$5.4 \cdot 10^{-10}$	$5.4 \cdot 10^{-11}$	RdTh	$5.27 \cdot 10^{-14}$	$5.27 \cdot 10^{-15}$
Опыт 2 . . . . .	Ra	$3.05 \cdot 10^8$	$3.05 \cdot 10^{-9}$	RdTh	$5.8 \cdot 10^{-12}$	$5.8 \cdot 10^{-13}$

<sup>1</sup> Методика и результаты опытов подробно изложены в другом месте.

После окончания развития, растения вынимались из сосудов, взвешивались и исследовались в лаборатории. При этом учет влияния добавленных радиоэлементов на развитие растений проводился сотрудником лаборатории акад. Прянишников А. А. Дробковым, а распределение в них радиоэлементов изучалось сотрудниками биогеохимической лаборатории К. Г. Кунашевой и В. И. Барановым. Радиоактивность измерялась отдельно для воздушной массы и корневой системы. Концентрации радиоэлементов в питательной среде, дающие наиболее благоприятный эффект на развитие растений, будем называть оптимальными концентрациями. По данным опытов 1936 г. получены оптимальные концентрации различных радиоэлементов, которые приведены в табл. 1:

Таблица 1

№ опыта	Время опыта	Культура (водная)	Прибавленный радиоэлемент	Оптимальная концентрация в %
1	23 V—11 VII 1936	Горох <i>Pisum sativum</i>	Уран	$8.5 \cdot 10^{-6}$
2	23 V—11 VII	» » »	Радий	$1.7 \cdot 10^{-12}$
3	23 V—11 VII	» » »	Актиний	$6 \cdot 10^{-15}$

Чтобы сравнить радиоактивные энергии, соответствующие оптимальным дозам, мы должны принять во внимание значения радиоактивных постоянных соответствующих радиоэлементов, тогда получим следующую картину (табл. 2):

Таблица 2

Культура (водная)	Радиоэлемент	Период полураспада	Оптимальная концентрация		
			В %	В числе атомов, распадающихся в 100 мл питат. среды в 1 мин.	Отношение к среднему
<i>Pisum sativum</i>	Радий (Ra)	$1.59 \cdot 10^3$ л.	$1.7 \cdot 10^{-12}$	3.8	1.0
» »	Актиний (Ac) с продуктами расп.	13.5 л.	$6.0 \cdot 10^{-15}$	1.6	0.1
» »	Уран (U), свободный от Ra	$4.4 \cdot 10^3$ л.	$8.8 \cdot 10^{-6}$	6.1	1
			Среднее	3.8	

Мы видим из табл. 2, что оптимальная концентрация исследованных радиоэлементов, выраженная в весовых процентах, в питательной среде колеблется в пределах  $10^9$  раз. Однако если мы умножим значения оптимальной концентрации на соответствующую константу распада и возьмем

величины, пропорциональные числу распадающихся атомов в единицу времени, то получим весьма близкие между собой числа для всех радиоэлементов, колеблющиеся в отношении всего 1:4. При этом следует иметь в виду, что оптимальная концентрация является величиной, определяемой с точностью лишь до порядка.

Для других испытанных культур в водной среде оптимальными являются концентрации радия такого же порядка <sup>(1)</sup>.

Отсюда мы можем вывести заключение, что концентрации различных радиоэлементов в питательной среде, оказывающие оптимальное действие на растения, отвечают примерно одинаковому числу атомов, распадающихся в единицу времени, т. е. близкой энергии атомного распада. Иначе говоря, оптимальные концентрации являются эквивалентными.

### Поглощение радиоэлементов растениями

Результаты опытов по изучению поглощения радиоэлементов растениями, выращенными на радиоактивных питательных средах, приведены в табл. 3—6.

Таблица 3

Концентрация Ra горохом *Pisum sativum*

		%	$2.42 \cdot 10^{-13}$	$2.42 \cdot 10^{-12}$	$2.88 \cdot 10^{-11}$	2.42
		Распад атомов в 100 мл в мин.	0.54	5.4	64	540
Концентрация радия в растении по отношению к среде	В питательной среде	—	20	0.82	1.17	2.1
	Воздушные части	—	42.5	60	50.5	45
	Корни	—	30	8.4	8.4	9.4
	Воздушные части + корни	—				

Таблица 4

Концентрация Ac горохом *Pisum sativum* <sup>(2)</sup>

		%	$9.6 \cdot 10^{-16}$	$9.6 \cdot 10^{-15}$	$9.6 \cdot 10^{-14}$	$9.6 \cdot 10^{-13}$
		Распад атомов в 100 мл в мин.	0.25	2.5	25	250
Концентрация актиния в растении по отношению к среде	В питательной среде	—	—	—	6.9	19.4
	Воздушные части	—	2960	396	920	1780
	Корни	—	273	27.5	100	211
	Воздушные части + корни	—				

<sup>(1)</sup> В песчаных культурах по опытам А. А. Дробнова получились лучшие результаты с концентрацией Ra на 1 декаду выше, т. е.  $n \cdot 10^{-11}$ %. Эта концентрация приближается по порядку к концентрации в природных почвах.

<sup>(2)</sup> Данные по концентрации актиния растениями получены нами впервые.

Таблица 5

Концентрация Ra и RdTh салатом *Lactuca sativa*

Радиоэлемент	Ra			RdTh			
	%	$5.4 \cdot 10^{-11}$	$3.05 \cdot 10^{-9}$	$5.3 \cdot 10^{-15}$	$5.8 \cdot 10^{-13}$		
Концентрация радиоэлемента	В питательной среде	Распад атомов в 100 мл в мин.	121	6800	9.8	1070	
		В растении по отношению к среде	Воздушные части	—	0.39	0.025	0.33
	Корни		—	17.1	51.4	26.4	45.7
	Сумма		—	3.55	8.0	7.1	7.1

Таблица 6

Концентрация Ra овсом *Avena sativa* и льном *Linum usitatissimum* при различной дозировке

Концентрация радия	%		$2 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-8}$	
	В питательной среде	Распад атомов в 100 мл в мин.	4.46	446	44600	
Концентрация радия	В растении по отношению к среде	Воздушные части	Овес	6	2.25	0.22
			Лен	25	1.1	0.17
	Корни	Овес	280	320	110	
		Лен	230	60	240	

Приведенные цифры позволяют сделать следующие выводы.

1. Во всех исследованных случаях концентрация радиоэлементов в растении, считая в процентах на живой вес, оказалась больше, чем в питательной среде: для Ra в горохе в 16.3 раза, в салате в 5.8 раза; для RdTh в салате в 7.1 раза и для Ac в горохе в 160 раз. Опыты 1936 и 1937 гг. дают вполне согласные результаты. Обращает на себя внимание значительно бóльшая степень концентрации Ac по сравнению с другими исследованными радиоэлементами.

2. Концентрация в воздушных частях, считая на живой вес, получилась значительно меньше, чем в корневой системе примерно за 2 порядка для всех исследованных радиоэлементов.

3. Для больших доз радиоэлементов Ra и RdTh (на 2 декады больше оптимальных) в опыте с салатом концентрация того и другого радиоэлемента в зеленой массе растения по отношению к питательной среде получилась на 1 декаду меньше, чем при меньших дозах. Относительная концентрация в корнях существенно не изменялась. Такой же факт получен К. Г. Кунашевой и с другими культурами в опыте 1938 г. (лен и овес).

Это дает основание высказать предположение, что при больших концентрациях радиоэлементов затрудняется их проникновение в растение, что, повидимому, связано с действием радиоактивности.

4. Известным подтверждением этого вывода может служить тот факт, что  $As$ , не дающий практически заметных излучений, проникает в растения в относительно большей концентрации, чем другие радиоэлементы (по отношению к концентрации в питательной среде).

5. Близкая радиоактивная энергия доз различных радиоэлементов, дающих оптимальный эффект для развития растений и совпадение порядка величины оптимальной концентрации для различных растений, представляет большой практический интерес для постановки опытов с радиоактивными удобрениями. Повидимому, в ряде случаев возможна замена одних радиоэлементов другими, взятыми в эквивалентных количествах.

При этом следует отметить, что найденная оптимальная доза  $As$  получена для препарата  $As$  в равновесии с  $RdAs$  и  $AsX$  и относится скорее к этим радиоэлементам, чем к самому  $As$ .

Все эти выводы требуют, разумеется, дальнейшей проверки и уточнения для различных культур и питательных сред.

Ближайшими вопросами, имеющими принципиальное значение и могущими представить большой практический интерес, является изучение поглощения растениями различных радиоактивных изотопов, взятых в широком интервале относительных радиоактивностей; в частности при этом возможно значительное нарушение радиоактивного равновесия в растениях по отношению к питательной среде.

Весьма важным вопросом является также дальнейшее изучение распределения радиоэлементов в различных частях и органах растений, а также выяснение особенностей действия  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучений радиоэлементов.

Поступило  
25 VII 1939