

В. М. КЛЕЧКОВСКИЙ и Т. П. ЕВДОКИМОВА

О РАДИОАВТОГРАФИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАДИОИЗОТОПОВ В РАСТЕНИЯХ

(Представлено академиком Н. А. Максимовым 4 VI 1951)

С появлением радиоизотопного метода в биологических исследованиях стали довольно широко пользоваться контактными радиоавтографическими изображениями локализации изотопов в тканях. В опытах с растениями объектами для получения радиоавтографий служат листья, корни, а также срезы плодов, стебля и т. п.

В тех случаях, когда радиоавтография используется для демонстрации вообще присутствия радиоактивного изотопа в определенных участках ткани, трактовка изображения представляется весьма простой: места почернения чувствительной пленки указывают на содержание в соответствующих местах радиоактивного излучателя, на отпечатках же с такого «негатива» места скопления радиоизотопа выглядят белыми или вообще более светлыми пятнами на черном фоне. Интенсивность почернения «негатива» и резкость светлых пятен на отпечатке в некоторых случаях может служить указанием на большую или меньшую концентрацию излучателя в соответствующих местах исследуемого объекта. Так, радиоавтографические изображения продольных срезов стебля кукурузы на рис. 1 (см. вклейку) четко демонстрируют скопление радиофосфора в узлах, особенно у основания стебля, по сравнению с прилегающими участками междоузлия. На рис. 2 весьма отчетливо видна локализация радиофосфора в семенах и более или менее диффузное распределение его в мякоти плода яблони. Радиоавтографии рис. 2 были получены в опытах по изучению распределения меченого фосфора в кроне яблони при его поступлении через изолированные участки корневой системы, проведенных в 1950 г. в саду плодовой опытной станции Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева.

Исходя из представления о прямой связи между интенсивностью почернения чувствительной пленки и содержанием радиоизотопа в соответствующих участках ткани, рассматривается возможность количественных определений с помощью фотометрирования радиоавтографий (1). В литературе имеются указания на разработку методики определения подобным образом содержания радиоактивных элементов «в отдельных органах и точках растения» (2). Вместе с тем, даже и без количественного анализа, путем простого сравнения радиоавтографических изображений, полученных в опытах с введением в растения радиоизотопов разных элементов, иногда делаются заключения об однотипном или неодинаковом распределении их в тканях. Так, А. А. Дробков (2) на основании подобного сравнения пришел к несколько неожиданному заключению о сходстве распределения в растениях таких резко различных по своей химической природе веществ, как естественные радиоактивные

элементы, с одной стороны, и радиофосфор, с другой. Путем аналогичного сравнения были сделаны выводы о неодинаковом распределении в листьях растений радиоизотопов молибдена и калия (3). Разный тип распределения в листьях отмечался также (4) на основании сравнения радиоавтографий для изотопов фосфора P³² и серы S³⁵.

Примером характерных различий подобного рода могут быть представленные на рис. 4 радиоавтографии листьев кукурузы: лист, содержащий P³², дает изображение, показывающее внешне совершенно иной характер распределения радиоизотопа, чем изображение листа, содержащего S³⁵. Однако при оценке подобного рода радиоавтографических изображений необходимо прежде всего иметь в виду, что интенсивность падающего на чувствительный слой излучения зависит как от объемной концентрации радиоизотопа в ткани, так и от его количества, приходящегося на единицу площади, причем это количество связано с распределением массы ткани в плоскости изображения. Кроме того, на интенсивность излучения, падающего на чувствительный слой, оказывает влияние поглощение излучения в ткани, размеры которого в свою очередь определяются, с одной стороны, массой ткани, приходящейся на единицу площади и, с другой, типом распада радиоизотопа и энергией излучаемых им частиц. При этом особенно важно иметь в виду, что, например, в зависимости от энергии β-частиц, а в связи с этим и от неодинакового поглощения излучения в ткани, неравномерность распределения массы ткани в плоскости изображения оказывает различное влияние на характер получаемой радиоавтографии. Без учета этих факторов суждение об особенностях локализации радиоизотопа, например в ткани листа, может оказаться ошибочным.

В нескольких опытах нами были проведены определения содержания радиофосфора в отдельных частях плодов и листьев, служивших для получения радиоавтографий. Как показывают данные табл. 1, результаты определения содержания фосфора (как меченого, так и общего) в семенах и мякоти плодов яблони находятся в полном соответствии с радиоавтографическими изображениями срезов тех же плодов, представленными на рис. 2. Несколько иные результаты дали аналогичные определения содержания меченого фосфора в центральной жилке и в отдельных от нее пластинках листьев яблони, радиоавтографии которых показаны на рис. 3. Из данных табл. 2 видно, что количество меченого (и общего) фосфора, отнесенное к единице сухой массы ткани, в центральных жилках листа было даже несколько меньше, чем в пластинке.

Таблица 1

Содержание общего и меченого фосфора в семенах и мякоти плодов яблони (на 1 г сух. в-ва)

Плоды, взятые для анализа	Общий фосфор в мг P ₂ O ₅		Меченый фосфор в тыс. имп/мин	
	семена	мякоть	семена	мякоть
1	14,0	2,0	13,1	3,0
2	12,0	1,5	27,5	5,3

Таблица 2

Содержание общего и меченого фосфора в листьях яблони (на 1 г сух. в-ва)

Листья	Общий фосфор в мг P ₂ O ₅		Меченый фосфор в тыс. имп/мин	
	центр. жилка	пластинка	центр. жилка	пластинка
1	2,6	3,8	15,0	18,2
2	3,2	3,8	23,0	27,2

Кажущееся расхождение между данными табл. 2 и рис. 3 объясняется неравномерностью распределения массы ткани листа в плоскости изображения, так как на единицу экспонируемой площади у центральной жилки приходится в несколько раз большая масса, чем у пластинки

Для разных изотопов, с неодинаковой энергией β -частиц, подобный эффект, как уже сказано, должен проявляться в разной степени. Так как радиофосфор излучает β -частицы высокой энергии, то поглощение излучения в толще исследуемого объекта (листа, среза) сравнительно мало сказывается на интенсивности излучения, достигающего чувствительного слоя. Иные условия создаются в опытах с радиоизотопом серы S^{35} , максимальная энергия β -частиц которого примерно в 10 раз меньше, и поэтому поглощение их в ткани гораздо сильнее.

Что эти различия оказываются достаточно резкими при таких объектах, как листья, показывает следующий опыт. Из листа кукурузы, содержащего S^{35} , вырезались 4 пластинки площадью в 1 см^2 каждая, которые помещались затем для измерения активности перед окошком счетчика по одному или сложенными вместе по 2, 3 или 4 пластинки (одна над другой). Такие же измерения были сделаны с пластинками, вырезанными из листа, содержащего P^{32} . Результаты этого опыта отчетливо показали, что в пластинке листа поглощается лишь незначительная доля излучения P^{32} , тогда как поглощение излучения S^{35} весьма велико.

Число пластинок	Импульсы в минуту	
	Опыт с P^{32}	Опыт с S^{35}
1	210	195
2	413	259
3	543	259
4	710	235

На рис. 4 показаны радиоавтографии листьев кукурузы из вегетационных опытов с S^{35} и P^{32} . Если радиофосфор дает на радиоавтографии характерную картину скопления в проводящих пучках, наиболее резко выраженного в центральной (осевой) части листа, то в случае с радиосерой имеет место обратное: в осевой, центральной части листа на отпечатке наблюдается даже более темная полоса (отвечающая меньшему почернению «негатива»). Анализ отдельных частей таких листьев показал, однако, что на самом деле в распределении S^{35} и P^{32} между центральной жилкой и боковыми частями пластинки листа нет резкой разницы. По расчету на 1 г сухого вещества и в том и в другом случае содержание радиоизотопа было примерно в три раза более высоким в пластинке, чем в центральной жилке (см. табл. 3).

Сравнение табл. 3 и рис. 4 наглядно демонстрирует тот факт, что в данном случае характер радиоавтографического изображения листа, содержащего P^{32} , обусловлен не концентрацией радиофосфора в центральной жилке, а большей массой ткани и вследствие этого большим количеством P^{32} , приходящимся на единицу площади изображения в этой части листа. В случае же S^{35} , наоборот, большее количество радиоизотопа на единицу площади в центральной части листа не вызывает увеличения интенсивности в этой части изображения вследствие относительно более полного поглощения излучения S^{35} в толще ткани.

Таблица 3
Содержание радиофосфора и радиосеры в листьях кукурузы

Части листа	Тыс. имп/мин на 1 г сух. в-ва		Тыс. имп/мин на 1 см^2 площади листа	
	опыт с P^{32}	опыт с S^{35}	опыт с P^{32}	опыт с S^{35}
Центральная жилка	57,6	16,1	0,78	0,25
Пластинка листа	141,6	45,6	0,35	0,13

Таким образом, неодинаковая энергия β -частиц оказывается фактором, определяющим в сильной степени характер радиоавтографического изображения локализации радиоизотопов разных элементов в листьях растений. Поэтому сравнение изображений, полученных в опытах с разными изотопами, возможно лишь при определенных соотношениях между толщиной исследуемого объекта и энергией излучаемых изотопами β -частиц. Само собою разумеется, что при изучении локализации в тканях растений изотопов, различающихся типом радиоактивного распада, отмеченные факторы приобретают еще большее значение.

Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева

Поступило
4 VI 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ H. Branson and L. Hansborough, Science, **108**, 2804 (1948). ² А. А. Дробков, ДАН, **68**, № 1 (1949). ³ P. Stout and N. Meager, Science, **108**, 2809 (1949). ⁴ M. Fried, Proc. Soil Science Soc. of America, **13** (1949).

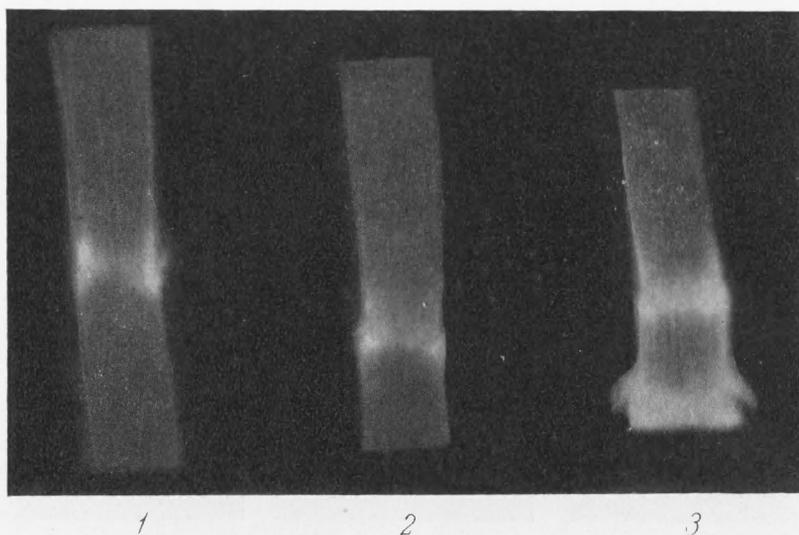


Рис. 1. Локализация радиофосфора в стебле кукурузы. 1, 2, 3 — порядок узлов снизу

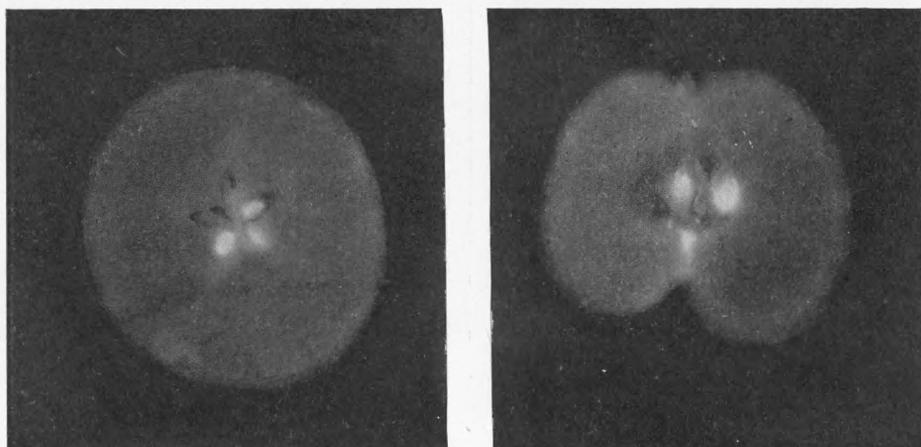


Рис. 2. Локализация радиофосфора в плодах яблони

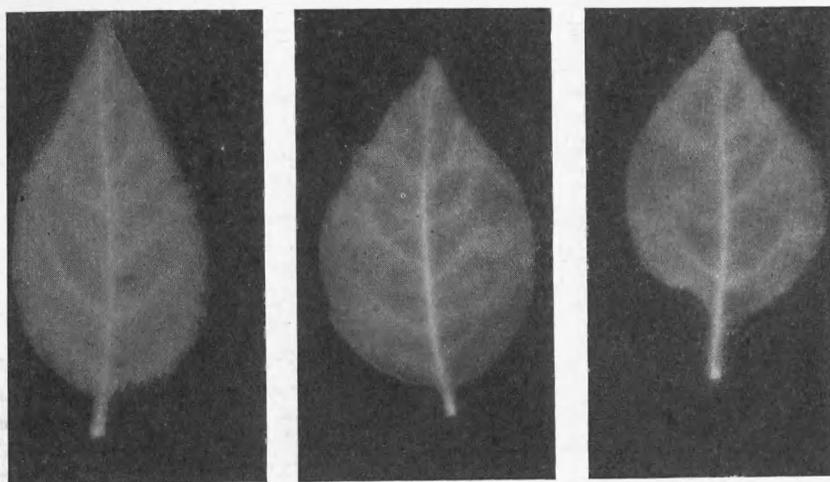


Рис. 3. Радиоавтографии листьев яблони, содержащих P^{32}

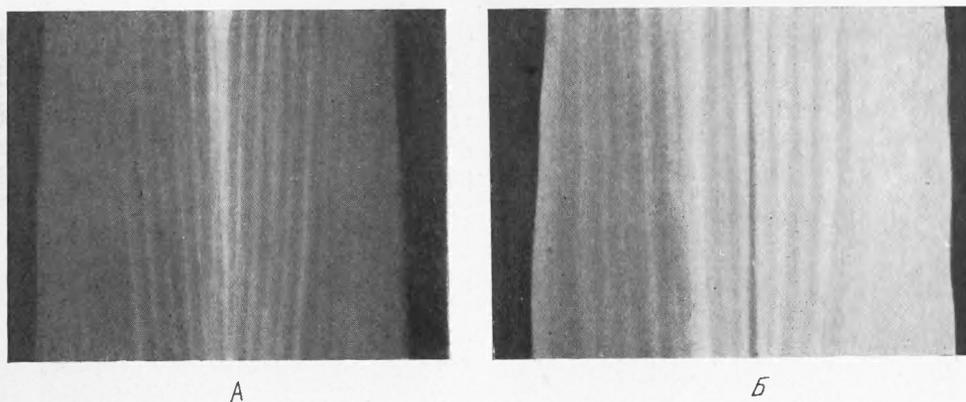


Рис. 4. Радиоавтографии листьев кукурузы, содержащих: А — P^{32} , Б — S^{35}
(из опытов с изолированным питанием)