

Б. А. РУБИН, Е. В. АРЦИХОВСКАЯ и О. Т. ЛУТИКОВА

**ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОБМЕНА У КРУГЛОЗЕРНОГО  
И МОРЩИНИСТОГО ГОРОХА В ПЕРИОД ПРОРАСТАНИЯ ЗЕРНА**

(Представлено академиком А. И. Опариным 13 IX 1947)

Работами лаборатории установлено, что различные биологические формы гороха характеризуются определенными особенностями обмена, которые обнаруживаются при исследовании как вегетативных частей растения, так и его репродуктивных органов (1-3). Ввиду того, что наблюдения над последними осуществлялись лишь на заключительном этапе развития гороха — в период созревания зерна, представлялось важным выяснить, сохраняются ли обнаруженные закономерности и в столь специфический период жизни растения, как прорастание зерна.

Описание результатов исследований, проведенных в этом направлении, составляет задачу настоящей статьи.

Методика. Объектом наблюдения служили семена гороха Ранний зеленый (типичная круглозерная форма) и Томас Лакстон (типичный представитель гороха мозгового или морщинистого). Проращива-

Таблица 1

Изменение соотношений между некоторыми группами веществ при прорастании гороха

	Дни прорастания	Сахароза		Крахмал		Азот белковый	
		Монозы		Сахар		Азот небелковый	
		Томас Лакстон	Ранний зеленый	Томас Лакстон	Ранний зеленый	Томас Лакстон	Ранний зеленый
Семенодоли	0	17,5	6,0	4,8	24,6	4,2	4,7
	8	68,8	17,5	2,0	12,2	2,3	2,9
	11	46,1	18,0	1,4	10,4	1,8	2,4
	15	31,4	14,1	1,3	9,9	1,1	1,7
Ростки . . .	8	1,03	0,5	0,0	0,16	0,35	0,54
	11	1,04	0,21	0,0	0,23	0,59	0,47
	15	1,43	0,11	0,0	0,21	0,38	0,33

ние осуществлялось на сильно увлажненной фильтровальной бумаге в темноте. Для анализа отбирались параллельные пробы по 15 зерен в каждой. Освобожденные от оболочки семенодоли и стебельки с листочками анализировались отдельно. Действие ферментов, регулирующих образование и распад сахарозы и синтез протеина, изучалось в живой

ткани по А. Л. Курсанову (4), ферментативное образование крахмала — по Б. А. Рубину и Е. В. Арциховской (5).

В согласии с результатами работ ряда исследователей наши данные также показывают, что доминирующим направлением обмена при прорастании семян является распад запасных соединений семенодолей. Однако и на этом фоне хорошо выявлены особенности обмена, свойственные каждой из изучавшихся форм гороха (табл. 1).

При рассмотрении данных, характеризующих ход созревания гороха, подчеркивалось существование известного антагонизма между накоплением в зерне запасных форм углеводов и азотистых веществ (3).

Наблюдения над прорастанием семян значительно дополняют представления о специфических особенностях круглозерной и мозговой форм гороха. Речь идет о различиях в характере обмена углеводов. У круглозерного гороха подавляющая масса углеводов откладывается в семени в форме крахмала, тогда как у мозгового доминирующей составной частью комплекса углеводов является сахароза. В связи с интенсивным распадом крахмала семенодолей при прорастании семян

сильно снижается коэффициент  $\frac{\text{крахмал}}{\text{сахар}}$ .

Однако на всем протяжении наблюдений соотношение между сортами по величине коэффициента  $\frac{\text{сахароза}}{\text{монозы}}$  и  $\frac{\text{крахмал}}{\text{сахар}}$  полностью сохраняется. Необходимо специально подчеркнуть, что в качестве продукта распада крахмала в тканях семенодолей гороха накапливается сахароза, что совпадает с литературными данными (6-10).

Близкие соотношения установлены для тканей ростков. Доля сахарозы в сумме растворимых сахаров в ростках мозгового гороха во много раз превышает соответствующие величины у круглозерной формы гороха. С удлинением сроков проращивания коэффициент  $\frac{\text{сахароза}}{\text{монозы}}$  в ростках у Раннего зеленого падает, тогда как у морщинистого возрастает, в силу чего превалирование морщинистого гороха по этому признаку становится все более подавляющим. Сохраняет также значение соотношение сортов по величине коэффициента  $\frac{\text{крахмал}}{\text{сахар}}$  в ростках.

Естественно, что в отсутствие света активность синтеза крахмала в последних весьма невелика. Тем не менее у гороха Ранний зеленый в ростках найдены вполне определенные количества крахмала, тогда как в ростках гороха Томас Лакстон на протяжении 2 недель наблюдений крахмал ни разу обнаружить не удалось. Чтобы подчеркнуть значение этой особенности, следует отметить, что концентрация осмотически активных сахаров в ростках у гороха Томас Лакстон в два раза выше, чем у гороха Ранний зеленый. Отсутствие крахмала у гороха мозгового типа можно представить себе как следствие весьма низкой скорости синтеза этого полимера, либо как результат распада синтезируемого крахмала. Во втором случае высокое содержание сахарозы в проростках гороха Томас Лакстон необходимо было бы рассматривать как следствие интенсивного распада крахмала, возможность чего, как мы видели, отнюдь не исключена. К этому вопросу мы вернемся позднее.

Характерны для каждой из форм гороха скорость передвижения пластических веществ из семенодолей в ростки, а также величины общих потерь этих веществ при прорастании в темноте (табл. 2).

Отметим в табл. 2 следующие закономерности:

1. Энергия передвижения пластических веществ из семенодолей в ростки у мозгового гороха значительно выше, чем у круглозерного.

2. У круглозерного гороха на первых этапах прорастания скорость миграции углеводов сильно отстает от миграции азотистых веществ;

Таблица 2

Миграция веществ из семенодолей при прорастании гороха

Дни прорастания	Томас Лакстон			Ранний зеленый		
	8	11	15	8	11	15
Углеводы ростков (в % от общего их содержания в прорастающем зерне) . . . . .	12,0	20,5	41,9	5,7	10,8	17,2
То же для азотистых веществ . . . . .	10,0	14,3	32,4	13,2	19,3	20,1
Общие потери углеводов (в % от исходного их запаса в семени) . . . . .	13,2	32,3	51,8	12,6	20,5	41,9
То же для азотистых веществ . . . . .	4,7	17,5	27,6	0,6	2,4	3,8

обратные соотношения в ходе этих процессов характерны для гороха мозгового типа.

3. Прорастание в темноте сопровождается значительными потерями пластических веществ, в особенности высокими у мозгового гороха. Привлекают внимание у этого гороха исключительно большие потери азотистых веществ (в 6—8 раз выше, чем у круглозерного).

Причиной активного распада белков в семенодолях гороха Томас Лакстон может служить их использование как дыхательного субстрата. Этот процесс стимулируется энергичной миграцией сахаров из семенодолей в ростки, а также весьма высокими потерями сахара на дыхание, имеющими место у мозгового гороха в первые фазы прорастания зерна. Иную картину мы наблюдаем у круглозерного гороха. Незначительные потери сахара на дыхание и невысокая скорость миграции сахаров из семенодолей в ростки, наряду с низкой активностью протеолитических процессов, позволяют семенодолям этого гороха прочно удерживать отложенные в них белковые вещества. Отмеченные выше особенности динамики веществ хорошо увязываются с особенностями и свойствами ферментных систем обеих форм гороха.

Таблица 3

Интенсивность ферментативных процессов в тканях морщинистого и круглозерного гороха на различных этапах прорастания зерна

	Дни прорастания	Синтез сахарозы Распад сахарозы		Синтез крахмала		Синтез протеина	
		Томас Лакстон	Ранний зеленый	Томас Лакстон	Ранний зеленый	Томас Лакстон	Ранний зеленый
Семенодоли . . . . .	7—8	2,82	13,16	-21,1	+24,7	-22,5	+6,5
	10—11	1,17	15,11	-25,1	+17,9	-15,6	+11,9
	14—15	0,32	12,0	-27,0	-24,5	-3,1	+25,4
Ростки . . . . .	7—8	0,22	0,03	-3,4	+11,4	-2,8	-8,8
	10—11	0,58	0,16	-3,8	+5,4	+1,9	-3,0
	14—15	3,15	0,46	+5,1	+3,7	+4,8	+14,9

Из табл. 3 видно, что резкое падение содержания крахмала и белка в семенодолях мозгового гороха обусловлено высокой, все усиливающейся при прорастании активностью ферментов, вызывающих распад этих полимеров. В противоположность этому, у круглозерного гороха на протяжении 2 недель прорастания ферменты сохраняют высокую активность синтеза протеина и крахмала и почти не катализируют распад последних.

Характерная для круглозерного гороха малая подвижность запасных веществ семенодолей обусловлена этими свойствами ферментной системы. С ними же связано и весьма медленное развитие ростков, наблюдаемое при прорастании семян этой формы гороха.

Накопление больших количеств сахарозы, имеющее место в семенодолях мозгового гороха, находится как бы в противоречии со свойственной тканям этого объекта весьма невысокой активностью образования сахарозы. Однако в данном случае увеличение содержания сахарозы более правильно рассматривать как результат интенсивного распада крахмала. У мозгового гороха высокая скорость миграции веществ стимулируется не только активным распадом полимеров в семенодолях, но и быстрой переработкой и использованием тканями ростков продуктов, поступающих в них. В особенности ярко этот факт проявляется в ходе синтеза протеинов в ростках.

Таким образом, результаты наблюдений, проведенных в период прорастания гороха, хорошо увязываются с теми особенностями, которые были выявлены при изучении у этих же форм процессов созревания зерна.

Высокая синтезирующая активность, свойственная тканям круглозерного гороха, обуславливает энергичное накопление в зерне полимеров, быстрый «налив» и созревание зерна. Благодаря этим же особенностям ферментной системы отложенные в тканях запасные вещества прочно удерживаются в семенодолях в течение длительного срока проращивания семян.

Противоположность круглозерному гороху представляет горох морщинистого типа. Относительно невысокая активность синтеза, свойственная ферментам этой формы гороха, является причиной медленного хода накопления здесь полимеров в период созревания. Зерно остается у этого гороха как бы недозрелым. Значительная часть пластических веществ откладывается в нем в форме растворимых, простых соединений. Этими же свойствами ферментной системы обусловлен энергичный ход прорастания зерна гороха мозгового типа. Уже на первых этапах прорастания здесь наблюдается бурное активирование процессов распада сложных соединений, чем обеспечивается необходимый градиент концентрации осмотически активных веществ и их энергичная миграция из семенодолей в ростки.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. А. Рубин и О. Т. Лутикова, Биохимия, 2, 423 (1937). <sup>2</sup> Е. В. Арциховская и Н. С. Спиридонова, ДАН, 23, 155 (1939). <sup>3</sup> О. Т. Лутикова, ДАН, 31, 683 (1941). <sup>4</sup> А. Л. Курсанов, Биохимия, 1, 269 (1936); 3, 569 (1938). <sup>5</sup> Б. А. Рубин, Е. В. Арциховская, Н. С. Спиридонова и О. Т. Лутикова, там же, 5, 687 (1940). <sup>6</sup> H. Müller-Thurgau, Z. wiss. Landwirtschaft, 2, 751 (1882). <sup>7</sup> H. Lundegårdt, Jahrb. Wiss. Bot., 53, 421 (1914). <sup>8</sup> G. Wolff, Biochem. Z., 176, 225 (1926); 178, 36 (1926). <sup>9</sup> С. Д. Львов, Эксперим. бот., 2, 1619 (1934); Физиологическая роль сахарозы. Тезисы доклада Совещ. по физиолог. растений, 1940. <sup>10</sup> А. И. Смирнов, Влияние этилена на карбогидратный синтез углеводов в растениях, Тезисы доклада Совещ. по физиолог. растений, 1940.