

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

В. А. ЗЕНЧЕНКО

**ЗНАЧЕНИЕ ПЕНТОЗАНОВ ДЛЯ ПРОРАСТАЮЩИХ СЕМЯН**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 5 I 1954)

До последнего времени было распространено мнение, что пентозаны не являются запасными веществами семени, имеющими питательное значение. Так, Толленс (1, 2) считал, что пентозаны семян не принадлежат к резервным веществам, которые исчезают при прорастании благодаря дыханию и что в растительном обмене веществ пентозаны и пентозы являются скорее конечными отбросами, чем промежуточными продуктами обмена. Чапек (3) и др. смотрели на пентозаны у растений как на преимущественно скелетные вещества. Однако теперь все более выясняется, что пентозы входят в некоторые физиологически активные соединения. Так, установлено, что рибоза и ее производные: дезоксирибоза и рибит входят в состав таких важнейших для организма веществ, как нуклеопротенды, ферменты и витамины, принимающие деятельное участие в обмене веществ организма. Что касается других пентоз, то мнение о них как об исключительно скелетных веществах было сильно поколеблено работами А. М. Палеева (4), показавшего, что при созревании семян ржи в ее листьях и стеблях происходит уменьшение количества пентозанов, обусловленное перетеканием последних к колосу и зерну, на построение тканей которых они используются. А. Л. Курсанов и Э. Н. Выхребенцева (5) также наблюдали снижение содержания пентозанов в хлопковом волокне по мере его созревания. В связи с этими работами возникает вопрос: может ли зародыш прорастающего семени использовать накопленные в эндосперме пентозаны?

Необходимо было установить, превращаются ли при прорастании зерна нерастворимые пентозаны его эндосперма в усвояемую зародышем форму. Многие исследователи находили в прорастающих семенах ячменя и других растений цитазу, способную переводить воднонерастворимые пентозаны в воднорастворимые, и отмечали возрастание содержания воднорастворимых пентозанов при солодоращении. В. Л. Кретович и И. С. Петрова (6) установили, что при прорастании семян ржи происходит увеличение в них количества воднорастворимых пентозанов как высокомолекулярных, так и низкомолекулярных. Нам представлялось важным исследовать изменения во фракции сахароподобных низкомолекулярных спирторастворимых пентозанов отдельно в эндосперме и в зародышах прорастающих семян.

Семена ячменя сорта Паллидум 330/2 Азербайджанской ССР урожая 1946 г. после 3-суточного замачивания были подвергнуты нами солодоращению в темноте в течение 8 суток при температуре 8—16°. У замоченных семян зародыши и у проросших семян ростки вместе с корешками отделялись от эндосперма и поступали на анализ раздельно. Материал фиксировался кипящим спиртом и экстрагировался спиртом в концентрации 86—88%. В экстракте после удаления спирта количество пентозанов

определялось колориметрическим методом (7). Полученные результаты представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что при прорастании ячменя в целых зернах, эндоспермах и зародышах увеличивается как процентное содержание спирторастворимых пентозанов, так и их абсолютное количество, рассчитанное в миллиграммах на 1000 шт., соответственно, зерен, эндоспермов и зародышей, а также их количество в зерне в процентах к общему количеству пентозанов в нем. Увеличение количества спирторастворимых пентозанов в эндосперме свидетельствует о том, что ферменты цитазного комплекса

Таблица 1  
Содержание спирторастворимых пентозанов в проросшем и непроросшем ячмене

Объект	Замоченный ячмень			Проросший ячмень		
	в % на сух. вес	в мг на 1000 шт.	в % к общ. колич. пентозанов	в % на сух. вес	в мг на 1000 шт.	в % к общ. колич. пентозанов
Целые зерна . . . . .	0,0093	2,8	0,10	0,034	9,2	0,37
Эндоспермы . . . . .	0,0083	2,4	—	0,028	6,8	—
Зародыши . . . . .	0,05	0,4	—	0,081	2,4	—

при прорастании производят не только легкий гидролиз нерастворимых пентозанов клеточной стенки эндосперма с переводом их в высокомолекулярные растворимые в воде коллоидные продукты, но и глубокое расщепление до спирторастворимых низкомолекулярных сахароподобных пентозанов и свободных пентоз. Возможно, что в эндосперме прорастающих семян превращение высокомолекулярных пентозанов в низкомолекулярные происходит не только в результате ферментативного гидролиза, но и как следствие ферментативных реакций фосфоролиза, трансглюкозидации, в которых могут участвовать пентозы (8, 9), и реакций транспентозидации, показанных для нуклеозидов (10, 11).

Таблица 2  
Рост изолированных зародышей пшеницы на растворах сахаров

	№ опыта	Зародыши на 100 шт. зерна *	Проращивание					зародыши в целом зерне
			без сахара (контр.)	арабиноза 1,5%	ксилоза		сахароза 3,5%	
					1,5%	3,5%		
Сырой вес 50 зародышей или проростков (в мг)	№ 1	148,6	290,2	277,7	680,0	498,3	1265,6	3101,9
	№ 2	148,9	283,8	319,2	678,0	559,6	1101,1	—
	средн.	148,8	287,0	298,4	679,0	529,0	1183,0	3101,0
Сухой вес 50 зародышей или проростков (в мг)	№ 1	52,5	42,3	47,3	84,8	88,1	154,1	254,6
	№ 2	52,9	42,4	55,2	88,0	88,6	126,5	—
	средн.	52,7	42,4	51,2	86,4	88,4	145,3	254,6

\* Перед проращиванием.

Чтобы разрешить вопрос, способен ли прорастающий зародыш поглощать пентозы, могущие образоваться в эндосперме в результате гидролиза пентозанов, мы поставили опыты с проращиванием зародышей на растворах различных сахаров. Семена пшеницы сорта Лютесценс 329 урожая 1950 г. замачивались в воде в течение суток. Зародыши у набухших семян отделялись от эндоспермов и проращивались при температуре 25—27° на фильтровальной бумаге, положенной на слой песка, смоченного раствором Кнопа с добавлением сахаров в следующих концентра-

циях: 1) без сахара (контроль), 2) 1,5% арабинозы, 3) 1,5% ксилозы, 4) 3,5% ксилозы, 5) 3,5% сахарозы, 6) для сравнения одновременно проращивались на водопроводной воде целые зерна пшеницы. По истечении трех суток определялись сырой и сухой (сушка при 105°) вес проростков. Было проведено 2 опыта. Результаты представлены в табл. 2.

Наилучший рост показали зародыши в целом зерне (на собственных эндоспермах). Хуже, но все же лучше, чем на растворах других сахаров, зародыши росли на растворах сахарозы. Еще меньший, но, однако, значительный рост показали зародыши пшеницы на растворах ксилозы. Сухой и сырой вес проростков на растворах ксилозы увеличился не только по сравнению с весом контрольных проростков, выращенных на растворе Кнопа без сахара, но и по сравнению с весом исходных зародышей набухшего зерна. Это доказывает способность зародыша пшеницы поглощать свободную ксилозу из раствора и использовать ее для своего питания и роста. Таким образом, сообщение Н. А. Сычева<sup>(12)</sup> о том, что добавка в питательную среду *d*-ксилозы вызывает угнетение роста растения, не подтверждается.

На растворе арабинозы сухой вес проростков был больше сухого веса проростков, выращенных без сахаров, но меньше сухого веса исходных зародышей набухших семян. Это можно объяснить тем, что поглощение арабинозы отчасти восполняет потерю сухого веса зародыша на дыхание при его росте. Однако возможно предположение, что арабиноза угнетает дыхание растущего проростка и этим уменьшает его потерю в весе. Но в последнем случае должно было бы иметь место угнетение роста, чего, однако, не наблюдалось. Наоборот, проростки, выращенные на растворе арабинозы, имели несколько больший сырой вес, чем проростки, росшие без сахаров, что и говорит в пользу первого предположения. Поглощение арабинозы проростками все же невелико и не может полностью компенсировать убыли веществ связанной с дыханием.

По аналогии с зародышем пшеницы, усваивающим пентозы из водного раствора, можно предположить, что при прорастании ячменя его зародыш также поглощает свободные пентозы и низкомолекулярные пентозаны из эндосперма. Это предположение подкрепляется замеченным нами при прорастании ячменя увеличением количества спирторастворимых пентозанов в эндосперме, служащих материалом для поглощения, и увеличением их содержания в зародыше, что является, вероятно, результатом их поглощения. Повидимому, фракция спирторастворимых пентозанов эндосперма состоит в основном не из свободных пентоз, а из низкомолекулярных пентозанов, в которых пентозы связаны между собой макроэргической связью. Установлено, что углеводы, содержащие макроэргическую связь, обладают повышенной активностью. Так, А. Л. Курсановым и О. А. Павлиновой<sup>(13)</sup> показано, что из смеси мальтозы с фруктозой синтез сахарозы в растении идет легче и с меньшей затратой энергии, чем из смеси глюкозы с фруктозой. Крахмал синтезируется из сахарозы быстрее, чем из инвертного сахара<sup>(14)</sup>. В литературе отмечается, что зародыши семян растут лучше на сахарозе, чем на растворах свободных гексоз. И в нашем опыте на сахарозе зародыши пшеницы росли лучше, чем на растворах простых сахаров. Надо думать, что зародыши из эндосперма должны усваивать низкомолекулярные пентозаны еще легче, чем они усваивают свободные пентозы из раствора. Однако этот вопрос требует специального исследования.

Чтобы установить, идут ли поглощенные зародышем пентозаны исключительно на построение клеточных стенок зародыша как таковые или претерпевают более глубокие превращения, мы определили общее количество пентозанов в пророщенном (как было описано выше) и непророщенном ячмене Паллидум 330/2 (см. табл. 3).

Замоченный ячмень содержит меньше пентозанов, чем сухой, что объясняется вымыванием части пентозанов при замочке. Процентное

содержание пентозанов в проросшем ячмене больше, чем в замоченном, но в 1000 зерен проросшего ячменя содержится меньше пентозанов, чем

Таблица 3

Общее количество пентозанов в проросшем и не проросшем ячмене

	В % к сух. вещ.	В г на 1000 зерен
Сухой ячмень . . . . .	9,3	2,80
Замоченный ячмень . . .	8,9	2,73
Проросший » . . . . .	9,3	2,57

в 1000 зерен непроросшего ячменя. Увеличение процентного содержания пентозанов является лишь кажущимся увеличением их количества и было обусловлено уменьшением веса зерна вследствие траты части его веществ на дыхание. В действительности абсолютное количество пентозанов при прорастании в нашем случае уменьшилось. Из этого следует, что поглощенные зародышем из эндосперма и новообразованные в нем пентозаны не только идут на построение его клеточных стенок, но и расходуются на другие процессы, превращаются в другие соединения, кото-

рые в конечном счете могут служить дыхательным материалом. Не исключена возможность и непосредственного использования пентоз при дыхании. Так, согласно теории В. А. Энгельгардта и А. П. Бархаша (15), в процессе дыхания в качестве нормального промежуточного продукта должна постоянно образовываться и подвергаться дальнейшему распаду пентоза в фосфорилированной форме.

Таким образом, на пентозаны нельзя смотреть как на отбросы в обмене веществ растения или как на исключительно скелетные вещества.

В литературе, наряду со многими сообщениями об увеличении количества пентозанов при прорастании семян, можно найти и отдельные упоминания об уменьшении их количества (3, 16-18).

Такое расхождение объясняется тем, что, повидимому, при прорастании семян в зародыше происходят одновременно два противоположных процесса: с одной стороны, новообразование пентоз и пентозанов из других соединений, а с другой, — расходование новообразованных и поступивших из эндосперма пентоз и пентозанов на дыхание и другие превращения.

В зависимости от соотношения этих процессов, а также от расхода других веществ семени на дыхание увеличивается или уменьшается абсолютное или процентное содержание пентозанов в семени.

В заключение автор выражает глубокую благодарность проф. И. Я. Веселову за ценные советы и указания при выполнении настоящей работы.

Всесоюзный научно-исследовательский институт пивоваренной промышленности и Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева Академии наук СССР

Поступило 10 XII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> A. Schöne, V. Tollens, J. f. Landw., 48, 349 (1900). <sup>2</sup> Толленс — Эльснер, Краткий справочник по химии углеродов, М., 1938. <sup>3</sup> F. Szarek. Biochemie der Pflanzen, 1, 1922. <sup>4</sup> А. М. Палеев, Биохимия, 2, 3 (1937); 3, 258 (1938). <sup>5</sup> А. Л. Курсанов, Э. Н. Выскребенцева, Биохимия, 17, 480 (1952). <sup>6</sup> В. Л. Кретович, И. С. Петрова, ДАН, 59, 281 (1948). <sup>7</sup> А. Н. Белозерский, Н. И. Проскураков, Практическое руководство по биохимии растений, М., 1951. <sup>8</sup> M. M. Doudoroff, H. A. Barker, W. Z. Hassid, J. Biol. Chem., 168, 725 (1947). <sup>9</sup> M. Doudoroff, W. Z. Hassid, H. A. Barker, ibid., 168, 733 (1947). <sup>10</sup> Г. А. Критский, ДАН, 70, 667 (1950); 82, 289 (1952). <sup>11</sup> Г. А. Критский, С. С. Мелик-Саркисян, Биохимия, 18, 475 (1953). <sup>12</sup> Н. А. Сычев, ДАН, 29, 382 (1940); ЖПХ, 14, 674 (1941). <sup>13</sup> А. Л. Курсанов, О. А. Павлинова, Биохимия, 15, 52, 178 (1950). <sup>14</sup> Б. А. Рубин, Е. В. Арциховская и др., Биохимия, 5, 687 (1940). <sup>15</sup> В. А. Энгельгардт, А. П. Бархаш, Биохимия, 3, 500 (1938). <sup>16</sup> G. Chalmot, Am. Chem. J., 15, 276 (1893). <sup>17</sup> G. Chalmot, ibid., 16, 589 (1894). <sup>18</sup> K. Goetze, T. Pfeiffer, Landw. Vers.-Stat., 47, 59 (1896).