

АНАТОМИЯ РАСТЕНИЙ

М. И. КНЯГИНИЧЕВ и Т. М. ГОРЕЛКИНА

**СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КРАХМАЛА СЕМЯН ЗЛАКОВ
И БОБОВЫХ КУЛЬТУР**

(Представлено академиком Н. И. Вавиловым 26 II 1938)

Особенности в развитии растений, принадлежащих к различным родам, вызывают отличные пути синтеза основных запасных веществ семени— белков и крахмалов. Трудность изучения этих веществ осложняется не только их коллоидным характером, но и невыясненностью физиологического состояния организма растения, когда оно начинает образовывать эти основные запасные вещества семени. Между тем эти вопросы являются весьма актуальными, ибо величина урожая и его качество в основном зависят от накопления и структурных особенностей белков и крахмалов семян.

Настоящее сообщение является результатом исследования крахмалов, выделенных из семян различных сортов принадлежащих к различным видам и родам главнейших зерновых и зерно-бобовых культур.

Крахмал из семян отмывался водой, а затем в течение 30 мин. экстрагировался 5% раствором сернокислого калия—в случае злаков или 5% раствором хлористого натрия—в случае бобовых, с последующей отмывкой водой до полного отсутствия реакции на серную кислоту или на хлор. Затем для быстрой просушки и большей чистоты крахмал дважды промывался спиртом и эфиром, после чего он переносился на стекло, на котором он быстро подсыхал. Препарат крахмала получался с содержанием азота около 0.05%.

Сравнение пшеничных крахмалов, полученных путем отмывки вышеуказанным методом и простой отмывкой водой до отсутствия биуретовой реакции, показало, что основные свойства крахмала мало изменяются. Так, температура клейстеризации была одинаковая, переваримость диастазом крахмала, отмывтого только водой, понижена (19.3 мг и 14.8 мг), содержание золы несколько повышено (0.22% и 0.39%). Промывка спиртом и эфиром после водного выделения крахмала значительно понижала содержание золы (с 0.268% до 0.147%) и азота (с 0.38% до 0.06%). Эти опыты несомненно указывают на значительную повидимому адсорбционную способность крахмального зерна, а также на изменчивость свойств под влиянием не только электролитов (1), но и других веществ.

Изучение крахмалов, выделенных из различных сортов пшениц, показало значительные различия в их свойствах. Приведем в табл. 1 часть данных по некоторым видам пшениц, выросших в 1935 г. в различных районах Советского Союза. Температура клейстеризации определялась

методом Самека (2); переваримость крахмала диастазом выражена в мг мальтозы на 1 г крахмала за период 3 час. гидролиза при рН=6.47 и температуре 30°.

Таблица 1

Виды и сорта	Пушкинская станция ВИР * под Ленинградом				Валуйская опытная станция (Республика Немцев Поволжья)			
	% золы	% фосфора	t° клей- стеризации	Перевари- мость крах- мала	% золы	% фосфора	t° клей- стеризации	Перевари- мость крах- мала
<i>Triticum vulgare</i> Vill. gr. <i>erythro-</i> <i>permutum</i> Körn. (сорт Новинка)	0.22	0.061	53.5	29.2	0.32	0.092	55.8	25.6
<i>Triticum vulgare</i> Vill. gr. <i>erythro-</i> <i>permutum</i> Körn. (сорт Эритрос- пермум 0341)	0.35	0.055	53.8	21.9	0.41	0.082	56.5	40.5
<i>Triticum sphaerococcum</i> Pers. v. <i>tumidum</i> происх. из Индии, по кат. ВИР № 23824	0.22	0.047	52.8	36.9	0.24	0.054	54.8	44.2
<i>Triticum durum</i> gr. <i>melanopus</i> происх. из Сирии, по кат. ВИР № 17121	0.28	0.103	51.0	44.2	0.29	0.086	54.0	62.3
<i>Triticum dicoccum</i> v. <i>praecox</i> происх. из Абиссинии, по кат. ВИР № 19258.	0.29	0.104	50.8	84.6	0.31	0.095	51.3	84.6

Изменчивость некоторых свойств пшеничного крахмала, выделенного из сортов, относящихся к видам *vulgare* и *durum*, наблюдалась и раньше рядом авторов (3, 4, 5, 6).

Таким образом влияние внешних условий произрастания на структурные особенности крахмального зерна сказывается и на других видах пшениц.

Пластичность генотипа сортов пшениц по качественным признакам крахмального зерна наблюдается и под влиянием удобрений, как это видно из табл. 2 (Степная станция ВИР).

Таблица 2

Сорта	Удобрения	% золы	% фосфора	Темпе- ратура клейсте- ризации	Перева- римость крах- мала
Гордеиформе 010	Контроль	0.268	0.059	52.0	114.0
» 010	Азот и фосфор	0.207	0.058	51.0	168.5
Лютесценс 062	Контроль	0.135	0.096	52.0	101.0
» 062	Азот и фосфор	0.215	0.128	50.5	133.3

Таким образом несомненно у сортов пшениц существуют различия по способности к синтезу определенной структуры крахмального зерна, зависящей не только от генотипа растений, но и от внешних факторов.

* ВИР—Всесоюзный институт растениеводства.

Растениям других родов зерновых и зерно-бобовых также свойственно синтезировать крахмал, различный по своим свойствам, в зависимости от сорта. Однако при разрушении структуры крахмального зерна путем клейстеризации наблюдаются сравнительно небольшие различия как в пределах отдельных родов, так и между отдельными сортами растений, как это видно из табл. 3, в которой приведена часть имеющихся у нас данных.

Таблица 3

Название культуры	Место произрастания	Переваримость крахмала диастазом	
		Структурный крахмал	Клейстеризованный крахмал
<i>Triticum vulgare</i> gr. <i>graecum</i> (сорт Грекум 0283)	Москва	6.6	611.3
<i>Triticum vulgare</i> gr. <i>graecum</i> (сорт Грекум 0283)	Днепропетровск	29.2	602.0
<i>Triticum durum</i> gr. <i>hordeiforme</i> (сорт Гордеиформе 0189)	Москва	25.6	601.7
<i>Triticum durum</i> gr. <i>hordeiforme</i> (сорт Гордеиформе 0189)	Днепропетровск	70.1	611.0
<i>Triticum monococcum</i> gr. <i>flavescens</i> (по кат. ВИР № 20631)	Пушкинская ст. ВИР	58.6	644.4
<i>Triticum monococcum</i> gr. <i>flavescens</i> (по кат. ВИР № 20631)	Днепропетровск	29.2	619.6
<i>Secale cereale</i> (сорт Вятка)	Пушкинская ст. ВИР	25.2	666.8
<i>Secale cereale</i> (сорт Елисеевская № 7838)	» » »	21.9	674.0
<i>Hordeum vulgare distichum</i> v. <i>persicum</i> (сорт Персикум 064, яровой посев)	Бурненский сорто-участок	70.1	648.0
<i>Hordeum vulgare distichum</i> v. <i>persicum</i> (озимый посев)	Бурненский сорто-участок	77.3	683.1
<i>Hordeum vulgare tetrastichum</i> v. <i>pal-lidum</i> (сорт Паллидум 043)	Бурненский сорто-участок	84.6	648.0
<i>Phaseolus vulgaris</i> (сорт Робюст)	Степная ст. ВИР	6.6	694.0
<i>Ph. acutifolius</i> v. <i>latifolius</i> Treemann (сорт Тепари № 7966)	Степная ст. ВИР	36.9	676.0
<i>Vigna sinensis</i> (по кат. ВИР № 1, из Египта)	Степная ст. ВИР	18.3	695.0
<i>Pisum sativum</i> ssp. <i>sativum</i> (сорт Виктория Штрубе)	Пушкинская ст. ВИР	8.4	624.7
<i>Pisum sativum</i> ssp. <i>sativum</i> (сорт Сахарный мозговой)	Пушкинская ст. ВИР	18.3	540.9

Другие виды и сорта этих родов показали аналогичные результаты. Обращают внимание данные по переваримости диастазом структурного крахмала ячменей. Она достаточно высокая и выровненная. Переваримость же клейстеризованного крахмала у ячменей мало чем отличается от переваримости крахмала по другим родам культурных растений.

Известно, что крахмальные зерна чрезвычайно различны по своим размерам. Это обстоятельство позволяет легко разделить крахмал на ряд фракций по крупности путем простого отмучивания в воде, с последующим выделением его с помощью центрифуги. Приведем в табл. 4 данные по переваримости диастазом различных фракций крахмала из различных сортов с Днепропетровского участка.

Т а б л и ц а 4

Культура	Крупность крахмальных зерен	Переваримость крахмала диастазом	
		Структурный	Клейстеризованный
<i>Triticum vulgare</i> gr. <i>graecum</i> (сорт Грекум 0283) . . .	Крупные	22.6	618.3
» » » » (» » 0283) . . .	Мелкие	40.3	609.1
<i>Triticum monococcum</i> gr. <i>flavescens</i> (по кат. ВИР № 20631)	Крупные	24.2	630.2
<i>Triticum monococcum</i> gr. <i>flavescens</i> (по кат. ВИР № 20631)	Мелкие	46.3	632.4
<i>Secale cereale</i> (сорт Елисеевская по кат. ВИР № 7838)	Крупные	21.9	674.0
» » (» » » » № 7838)	Мелкие	55.0	644.0

Из данных табл. 4 мы наблюдаем значительные различия по переваримости диастазом структурных зерен крахмала, различающихся по величине, и не находим их в оклейстеризованном крахмале.

В связи с различной переваримостью мелких и крупных зерен крахмала диастазом необходимо указать на работы анатомов, которые показали (7, 8), что крупные крахмальные зерна образуются в первую фазу налива семян («зеленая спелость») из пластид, а мелкие в последующую из хондриосом. Более легкий гидролиз мелких крахмальных зерен нужно отчасти объяснить большей их поверхностью, на которую действует диастаз, и повидимому структурными особенностями.

Скорость гидролиза структурного крахмала 10% соляной кислотой, протекающего при тех же условиях, как и в случае диастаза (3 часа при 30°), наблюдается в некоторых случаях большая, чем при диастазе. Клейстеризованный же крахмал гидролизуется ею значительно слабее, чем диастазом, как это видно из табл. 5.

Другие виды и сорта этих родов показали аналогичные результаты.

Более слабый гидролиз соляной кислотой клейстеризованного крахмала указывает, что при клейстеризации все же остаются структурные звенья крахмала, которые разрушаются диастазом значительно быстрее, чем соляной кислотой. Ряд авторов (9, 10, 11, 12) ранее по отдельным культурам наблюдали некоторые различия по свойствам крахмала у различных сортов.

В настоящее время схематическая формула крахмала выражается в виде $[(C_6H_{10}O_5)_x]_y$, где x обозначает коэффициент полимеризации, а y — коэффициент ассоциации. Повидимому большинству родов свойственно образовывать первоначальные продукты крахмала по одной схеме, поскольку процесс фотосинтеза связан с хлорофиллом и первыми продуктами

Таблица 5

Название растений	Место произрастания	Содержание мальтозы в мг на 1 г крахмала			
		Гидролиз диастазом		Гидролиз 10% соляной кислотой	
		Структурный	Клейстеризованный	Структурный	Клейстеризованный
<i>Triticum vulgare</i> gr. <i>graecum</i> (сорт Грекум 0283)	Москва	6.6	611.3	29.6	38.8
<i>Triticum durum</i> gr. <i>hordeiforme</i> (сорт Гордеиформе 0189)	Москва	25.6	601.7	21.2	36.6
<i>Phaseolus vulgaris</i> (сорт Робюст)	Степн. отд. ВИР	6.6	694.0	34.4	56.4
<i>Vigna sinensis</i> (по кат. ВИР № 1, из Египта)	Степн. отд. ВИР	18.3	695.0	42.4	48.8

являются сахара. Только в последующие фазы развития растения, когда начинаются процессы полимеризации глюкозных остатков и ассоциации их, наступают различия по родам, видам и сортам растений. С этой точки зрения можно объяснить явление, что при гидролизе клейстеризованного крахмала, мы не наблюдаем значительных различий между сортами, видами и даже родами.

Изложенные материалы позволяют сделать следующие выводы.

1. Сорта, виды и роды растений образуют крахмальные зерна, различные по своим свойствам (температура клейстеризации, гидролиз диастазом и соляной кислотой, содержание золы и фосфора).

2. Образование сахара при гидролизе диастазом после клейстеризации крахмала происходит почти в равной степени в пределах изученных родов растений: пшеницы, ржи, ячменя, фасоли, коровьего гороха (*Vigna sinensis*) и обычного гороха (*Pisum sativum*).

3. Структурные особенности крахмалов обуславливаются не только принадлежностью сорта к тому или другому виду или роду, но и климатическими условиями и агротехникой при возделывании сорта.

4. Очевидно у всех изученных растений начальные продукты синтеза крахмала близки и только в последующие фазы развития, когда начинаются процессы ассоциации крахмальных звеньев, наступают различия по родам, видам и сортам растений.

Биохимическая лаборатория.
Всесоюзный институт растениеводства.
Ленинград.

Поступило
25 II 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Т р у л л е г, Chem.-Zeitung, 44, 833, 845 (1920). ² М. А. С м и р н о в а, Тр. по прикл. бот., ген. и сел., сер. III (5), 301—308 (1931). ³ С. Е. М а н г е л с, Ser. Chem., 13 (2), 221—233 (1936). ⁴ А. Н е р м а н о а. О. R a s k, Ser. Chem., 3, 361—393 (1926). ⁵ L. R u m s e y, Amer. Ins. Baking, 8, 85 (1922). ⁶ С. A l s b e r g, Ind. Eng. Chem., 18, 190—193 (1926). ⁷ H a r l a n, J. Agr. Research, 19, 393—429 (1920). ⁸ В. Г. А л е к с а н д р о в и О. Г. А л е к с а н д р о в а, Соц. растениеводство, 14, 195—216 (1935); Тр. по прикл. бот., ген. и селекции, сер. 5—А, 2, 3—23 и 43—57 (1936). ⁹ R. A. В r i n k a. F. A. A b e g g, Genetics, 11, 163—199 (1926). ¹⁰ М. И. С м и р н о в а, Тр. по прикл. бот., ген. и сел., 25 (1), 329—346 (1931). ¹¹ Н. Н. И в а н о в, там же, сер. 3 (7) (1935). ¹² М. М. К у р г а т н и к о в, там же, 15, 83—109 (1936).