

## THE SIZE AND MORPHOLOGICAL FEATURES OF GRAINS OF NATIVE STARCH OF DIFFERENT BOTANICAL ORIGIN

A. Zabolotec, A. Ermakov

Belarusian National Technical University

V. Litvyak

Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus

### Key words:

Starch

Grains

Size

Morphology

### Article history:

Received 15.01.2018

Received in revised form

03.02.2018

Accepted 23.02.2018

### Corresponding author:

A. Zabolotec

E-mail:

tiro@bntu.by

### ABSTRACT

The sizes and morphological features of the seeds of native starch of different botanical origin isolated from plants of *Solanum tuberosum* L., *Zea mays* L., *Manihot utilissima* L. and *Manihot palmate* L., *Red leoti* L., genus *Triticum*, Triticale, *Secale cereale* L., *Hordeum vulgare* L., *Avena sativa* L., *Oryza sativa* L., *Pisum sativum* L., *Amaranthus tricolor* L., *Cicer arietinum* L. are investigated in the paper. The main structural characteristic of the structure of native starch that is a natural polymer in which the monomers ( $\alpha$ -D-glucopyranose residues) are bound by  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4)- and  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6)-glucoside bonds, forming amylose (polysaccharide of linear structure) and amylopectin (polysaccharide of branched structure) which is responsible for its physical-chemical properties is a starch corn (granule). Modern methods of obtaining native starch from plant raw materials of different botanical origin are analyzed. A wide variety of forms of starch grains was found to be regularly and irregularly oval, round, polyhedral. The dimensions of the starch grains ranged from 60,0 to 0,5 microns. The plant *Solanum tuberosum* L. is noted to have maximal sizes of starch grains., and *Amaranthus tricolor* L. — minimal sizes. Depending on the average size, starch grains can be arranged in a row due to the decreasing order: potato (21,7 $\pm$ 1,22 microns), rye (21,2 $\pm$ 2,36 microns), pea (20,4 $\pm$ 2,57 microns), nutaceous (14,8 $\pm$ 0,93 microns), tritical (13,2  $\pm$ 1,75  $\mu$ m), wheat (12,4 $\pm$ 1,90 microns), sorghum (11,0 $\pm$ 0,76 microns), barley (10,9  $\pm$ 1,15 microns), tapioca (10,6 $\pm$ 0,50 microns), corn (9,8 $\pm$ 0,42 micron), oatmeal (7,39 $\pm$ 0,87 microns), rice (5,3 $\pm$ 0,29 microns), amaranth (1,1 $\pm$ 0,04 microns). The largest size of starch grains was found in potato starch, and the smallest — in amaranth starch. It has been established that 7 native starches (sorghum, barley, oat, pea, chickpea, amaranth and corn) have monomodal distribution of starch grains in size (1-fractional), 4 (wheat, tritical, potato and tapioca) — bimodal (2-fractional), 2 (rye and rice) — trimodal (3-fractional). The gelatinization temperature, the amount of bound and free moisture, the viscosity of the starch paste, the ratio of starch fractions, the color of the iodine test, and other physical-chemical properties determine the specifics of the size and shape of the starch grains.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-1-31

## РАЗМЕРЫ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗЕРЕН НАТИВНОГО КРАХМАЛА РАЗНОГО БОТАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

А.А. Заболотец, А.И. Ермаков

Белорусский национальный технический университет

В.В. Литвяк

Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию

В статье исследованы размеры и морфологические особенности зерен нативного крахмала разного ботанического происхождения, выделенного из растений *Solanum tuberosum* L., *Zea mays* L., *Manihot utilissima* L. и *Manihot palmate* L., *Red leoti* L., *рода Triticum*, *Tritikale*, *Secale cereale* L., *Hordeum vulgare* L., *Avena sativa* L., *Oryza sativa* L., *Pisum sativum* L., *Amaranthus tricolor* L., *Cicer arietinum* L. Основной структурной характеристикой строения нативного крахмала — природного полимера, в котором мономеры (остатки  $\alpha$ -D-глюкопиранозы) связаны  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4)- и  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6)-глюкозидными связями, образуя амилозу (полисахарид линейного строения) и амилопектин (полисахарид разветвленного строения), обуславливающей его физико-химические свойства, является крахмальное зерно (гранула). Проанализированы современные способы получения нативного крахмала из растительного сырья разного ботанического происхождения. Выявлено большое разнообразие форм крахмальных зерен правильной и неправильной овальной, округлой, многогранной формы.

Размеры крахмальных зерен колебались пределах 60,0—0,5 мкм. Максимальные размеры крахмальных зерен отмечены у растения *Solanum tuberosum* L., а минимальный — у *Amaranthus tricolor* L. В зависимости от среднего размера крахмальные зерна можно расположить в ряд по уменьшению: картофельный (21,7 $\pm$ 1,22 мкм), ржаной (21,2 $\pm$ 2,36 мкм), гороховый (20,4 $\pm$ 2,57 мкм), нуттовый (14,8 $\pm$ 0,93), тритикалевый (13,2 $\pm$ 1,75 мкм), пшеничный (12,4 $\pm$ 1,90 мкм), сорговый (11,0 $\pm$ 0,76 мкм), ячменный (10,9 $\pm$ 1,15 мкм), тапиоковый (10,6 $\pm$ 0,50 мкм), кукурузный (9,8 $\pm$ 0,42 мкм), овсяный (7,39 $\pm$ 0,87 мкм), рисовый (5,3 $\pm$ 0,29 мкм), амарантовый (1,1 $\pm$ 0,04 мкм). Наибольший размер крахмальных зерен был отмечен у картофельного крахмала, а наименьший размер — у амарантового крахмала.

Установлено, что у семи нативных крахмалов (соргового, ячменного, овсяного, горохового, нуттового, амарантового и кукурузного) распределение крахмальных зерен по размерам мономодальное (1-фракционное), у четырех (пшеничного, тритикалевого, картофельного и тапиокового) — бимодальное (2-фракционное), у двух (ржаного и рисового) — тримодальное (3-фракционное). Температура клейстеризации, количество связанной и свободной влаги, вязкость крахмального клейстера, соотношение крахмальных фракций, цвет йодной пробы и другие физико-химические свойства обуславливаются (определяются) особенностями размера и формы крахмальных зерен.

**Ключевые слов:** крахмал, зерна, размер, морфология.

**Постановка проблемы.** Ассортимент продукции крахмало-паточного производства довольно велик и составляет несколько сот наименований [1—10]. В качестве основного сырья при получении крахмала и крахмал-продуктов используют картофель, кукурузу, пшеницу, рожь, ячмень, рис, гречиху, тапиоку и др. Кроме нативного крахмала вырабатываются патоки различного углеводного состава (низкоосахаренная, карамельная, высокоосахаренная, мальтозная, декстрин-мальтозная), мальтоза, мальтин, кристаллическая глюкоза, а также глюкозные, глюкозо-фруктозные и фруктозные сиропы. Выпускается большой ассортимент модифицированных крахмалов и декстринов [1—10].

Крахмал и крахмалопродукты играют важную роль в народном хозяйстве [1—8]. Они широко используются во многих отраслях пищевой промышленности: кондитерской, хлебопекарной, консервной, пищевконцентратной, молочной, мясной, а также в текстильной, бумажной, кожевенной, полиграфической, фармацевтической промышленности, в металлургии, в быту. Кроме того, крахмал и его производные применяют в химической промышленности при производстве сорбита, молочной кислоты, глицерина, ацетона, бутанола, лаков, различных плёнок и т.д.

При разработке современных технологий глубокой переработке растительного крахмалосодержащего сырья (технологии получения нативных и модифицированных крахмалов) важнейшим аспектом является изучение размеров и морфологической структуры крахмальных зерен.

**Цель статьи:** исследование размеров и морфологических особенностей зерен нативного крахмала разного ботанического происхождения.

**Объект и методы исследования.** Объектом исследований являлись нативные крахмалы: картофельный по ГОСТ 7699 [9], кукурузный по ГОСТ 7697 [10], тапиоковый по техническому нормативному правовому акту (ТНПА), пшеничный по ТНПА, рисовый по ТНПА, ржаной по ТНПА, гороховый по ТНПА, амарантовый по ТНПА, ячменный по ТНПА, сорговый по ТНПА, тритикалевый по ТНПА.

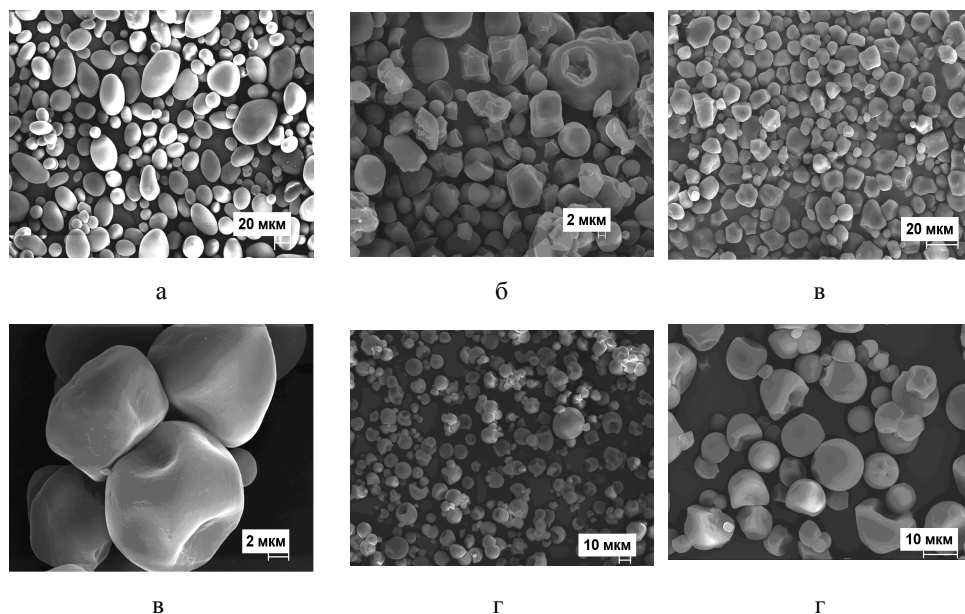
Сканирующие электронные микрофотографии зерен крахмала получены при помощи сканирующего (растрового) электронного микроскопа LEO 1420 (Германия).

Металлизацию препаратов нативного крахмала осуществляли золотом в вакуумной установке ЕМТЕСН К 550Х.

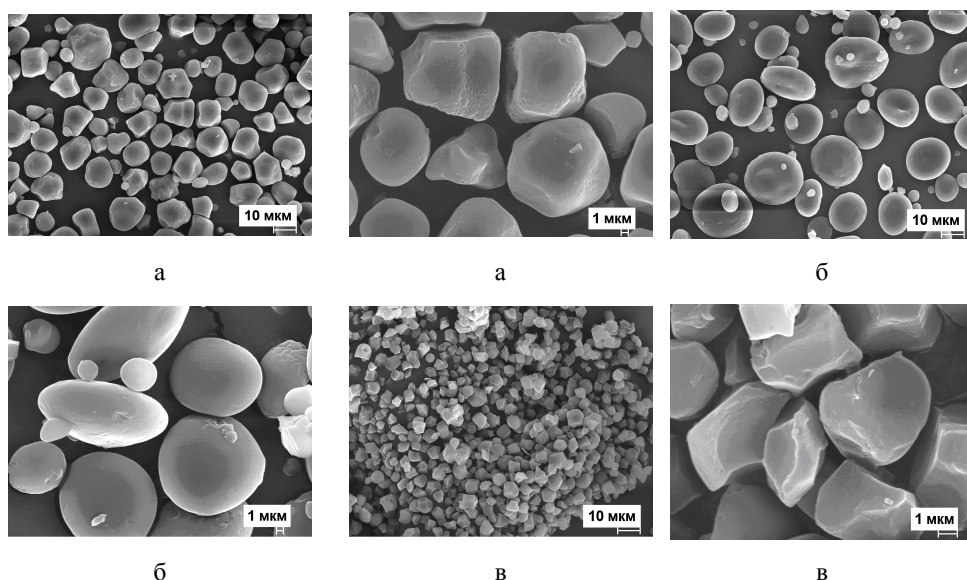
Размеры зерен крахмала оценивались с использованием компьютерных средств по общепринятым методикам. С помощью MS Excel рассчитаны средние значения размеров крахмальных гранул и определены границы доверительного интервала, а также построены графики распределения крахмальных зерен по размеру [11].

**Результаты и их обсуждение.** Зерна нативного крахмала, выделенные из растительных клеток различного ботанического происхождения, значительно различаются как по форме, так и по размерам, что во многом определяет технологические особенности получения крахмала, его дальнейшую, при необходимости, модификацию и последующее использование [12—14].

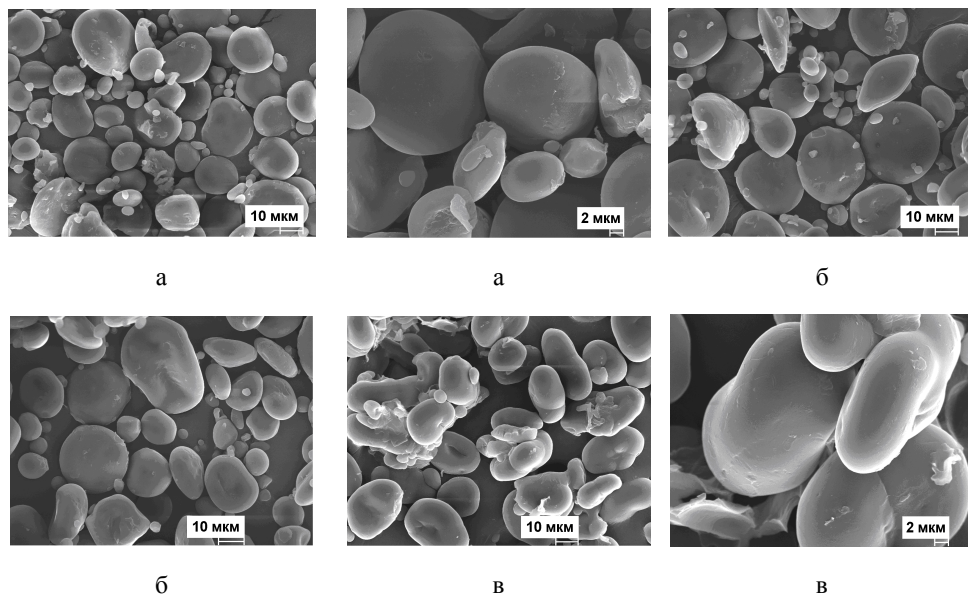
Сканируючі електронні мікрофотографії зерен нативного крохмала різного ботанічного походження (картофельного, кукурудзяного, тапиокового, пшеничного, рисового, ржаного, горохового, амарантового, ячмінного, соргового, тритикалевого) представлені на рис. 1—4.



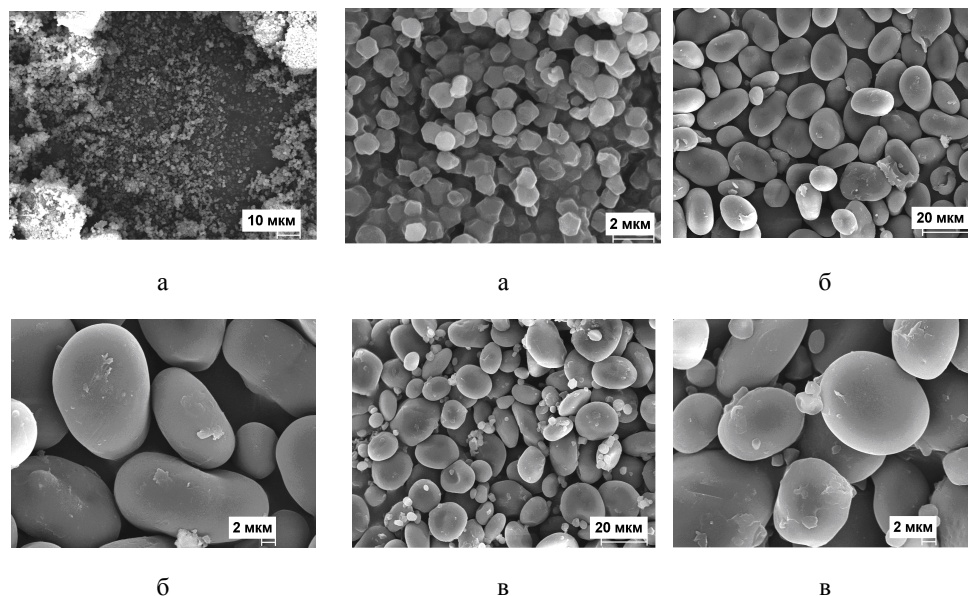
**Рис. 1.** Сканируючі електронні мікрофотографії зерен нативного крохмала: а — картофельний, б — овсяний, в — кукурудзяний, г — тапиоковий



**Рис. 2.** Сканируючі електронні мікрофотографії зерен нативного крохмала: а — сорго, б — пшеничний, в — рисовий



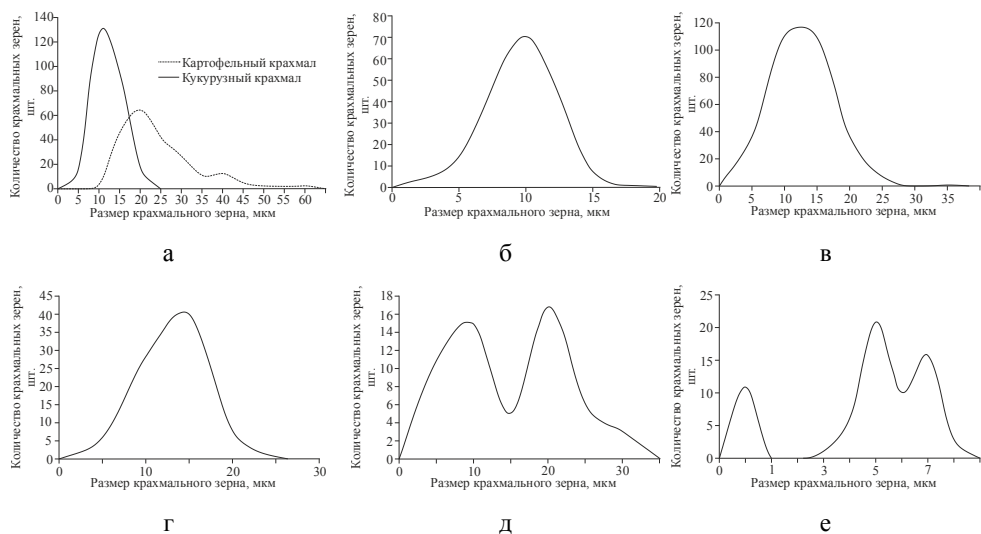
**Рис. 3.** Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного крахмала: а — тритикале, б — ржаной; в — гороховый



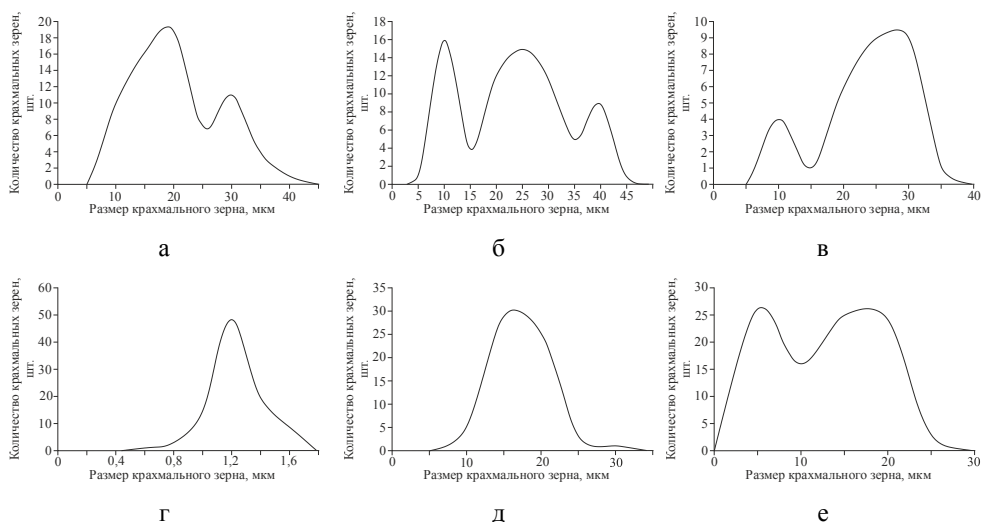
**Рис. 4.** Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного крахмала: а — амарантовый, б — нутовый, в — ячменный

На рис. 5 и 6 показан гранулометрический анализ зерен нативного крахмала разного ботанического происхождения (распределение зерен нативного крахмала по размерам).





**Рис. 5. Гранулометрический анализ зерен нативного крахмала:**  
 а — картофельный и кукурузный, в — овсяный, в — тапиоковый, г — сорго,  
 д — пшеничный, е — рисовый



**Рис. 6. Гранулометрический анализ зерен нативного крахмала:**  
 а — тритикале, б — ржаной, в — гороховый, г — амарантовый, д — нутовой,  
 е — ячменный

Гранулометрический анализ зерен нативного крахмала проведен на основании результатов, приведенных в таблице, где показаны средний, минимальный и максимальный размеры зерен нативных крахмалов разного ботанического происхождения с особенностями статистической обработки исследованной выборки.

*Таблица 1. Морфологическая характеристика нативных крахмалов различного ботанического происхождения*

Параметры	Нативные крахмалы						
	1	2	3	4	5	6	
$d_{\text{сред.}}$	21,2	12,4	13,2	11,0	10,9	5,3	
Стандартная ошибка	1,19	0,97	0,88	0,38	0,58	0,15	
Медиана	21,8	11,3	12,7	11,0	11,4	5,2	
Мода	22,4	2,8	13,1	12,2	4,5	4,1	
Стандартное отклонение	10,27	7,31	7,24	3,49	5,63	1,11	
Дисперсия выборки	105,4	53,5	52,48	12,19	31,72	1,23	
Экссесс	-0,9	-1,27	-0,67	0,16	-1,34	-0,59	
Асимметричность	0,1	0,26	0,51	0,09	0,1	0,06	
Интервал	37,9	24,3	26,7	18,2	18,4	5,2	
$d_{\text{min}}$	4,9	2,8	4,0	3,5	3,0	2,7	
$d_{\text{max}}$	42,8	27,1	30,7	21,7	21,4	7,9	
Уровень надежности (95,0%)	2,36	1,90	1,75	0,76	1,15	0,29	
Верхняя граница	23,5	14,3	15	11,7	12,1	5,6	
Нижняя граница	18,8	10,5	11,5	10,2	9,8	5	
Параметры	Нативные крахмалы						
	7	8	9	10	11	12	13
$d_{\text{сред.}}$	20,4	14,8	1,1	10,6	21,7	9,8	7,39
Стандартная ошибка	1,25	2,46	0,02	0,26	0,62	0,21	0,43
Медиана	20,8	14,5	1,1	10,1	19,0	9,7	6,57
Мода	н/д	15,8	1,2	8,8	17,1	12,7	5,09
Стандартное отклонение	6,87	3,69	0,18	4,43	8,99	3,38	2,56
Дисперсия выборки	47,22	13,59	0,03	19,63	80,88	11,44	6,57
Экссесс	0,02	0,17	0,71	0,66	2,2	-0,49	0,66
Асимметричность	-0,74	0,07	-0,32	0,54	1,4	0,37	1,04
Интервал	26,3	19,6	1,0	28,4	52,3	15,5	10,96
$d_{\text{min}}$	6,1	6,0	0,5	2,8	7,7	3,6	3,96
$d_{\text{max}}$	32,3	25,6	1,5	31,2	60,0	19,2	14,91
Уровень надежности (95,0%)	2,57	0,93	0,04	0,50	1,22	0,42	0,87
Верхняя граница	23,0	15,7	1,2	11,1	22,9	10,2	8,25
Нижняя граница	17,8	13,9	1,1	10,1	20,5	9,3	6,52

**Примечание:** 1 — ржаной, 2 — пшеничный, 3 — тритикалевый, 4 — сорговый, 5 — ячменный, 6 — рисовый, 7 — гороховый, 8 — нутовый, 9 — амарантовый, 10 — тапиоковый, 11 — картофельный, 12 — кукурузный, 13 — овсяный.

Анализ морфологической характеристики зерен нативных крахмалов показал, что крахмальные зерна имеют преимущественно следующую форму: у ржаного и ячменного — овальную и округлую, у пшеничного и тритикалевого — правильную овальную и округлую, у горохового и картофельного — неправильную овальную, у овсяного и тапиокового — неправильную округлую, у рисового и кукурузного — неправильную многогранную, у соргового — овальную и многогранную, у нутового — правильную овальную, у амарантового — многогранную (рис. 1—4).

Установлено, що середній розмір зерен нативного ржаного, пшеничного, тритикалевого, соргового, ячменного, рисового, горохового, нутового, амарантового, тапиокового, картофельного, кукурузного, овсяного відповідно, становить: 21,2 ( $\pm 2,36$ ); 12,4 ( $\pm 1,90$ ); 13,2 ( $\pm 1,75$ ); 11,0 ( $\pm 0,76$ ); 10,9 ( $\pm 1,15$ ); 5,3 ( $\pm 0,29$ ); 20,4 ( $\pm 2,57$ ); 14,8 ( $\pm 0,93$ ); 1,1 ( $\pm 0,04$ ); 10,6 ( $\pm 0,50$ ); 21,7 ( $\pm 1,22$ ); 9,8 ( $\pm 0,42$ ); 7,39 ( $\pm 0,87$ ) мкм (табл. 1). При цьому мінімальний і максимальний розмір зерен нативного ржаного, пшеничного, тритикалевого, соргового, ячменного, рисового, горохового, нутового, амарантового, тапиокового, картофельного, кукурузного коливався в межах: 4,9—42,8; 2,8—27,1; 4,0—30,7; 3,5—21,7; 3,0—21,4; 2,7—7,9; 6,1—32,3; 6,0—25,6; 0,5—1,5; 2,8—31,2; 7,7—60,0; 3,6—19,2; 3,96—14,91 мкм (табл. 1).

Всі досліджені нативні крохмалі в залежності від середнього розміру крохмальних зерен можна розпорядити в ряд по зменшенню ( $\rightarrow$ ): картофельний  $\rightarrow$  ржаной  $\rightarrow$  гороховий  $\rightarrow$  нутовий  $\rightarrow$  тритикалевий  $\rightarrow$  пшеничний  $\rightarrow$  сорговий  $\rightarrow$  ячменний  $\rightarrow$  тапиоковий  $\rightarrow$  кукурузний  $\rightarrow$  овсяний  $\rightarrow$  рисовий  $\rightarrow$  амарантовий. Найбільший розмір крохмальних зерен був відзначений у картофельного крохмала, а найменший розмір — у амарантового крохмала.

У семи типів нативних крохмалів (соргового, ячменного, овсяного, горохового, нутового, амарантового і кукурузного) розподілення крохмальних зерен по розмірам моноmodalне (чітко виділена одна фракція), у чотирьох типів нативних крохмалів (пшеничного, тритикалевого, картофельного і тапиокового) розподілення крохмальних зерен по розмірам біmodalне (двухфракційне), а у двох типів нативних крохмалів (ржаного і рисового) розподілення крохмальних зерен по розмірам триmodalне (трьохфракційне) (рис. 5 і 6).

Крохмалосодержачим сир'єм для отримання нативного картофельного крохмала являються клубней рослин картофеля *Solanum tuberosum* L., нативного кукурузного (маисового) крохмала — зерна рослини кукурузи *Zea mays* L., нативного тапиокового крохмала — клубней рослин *Manihot utilissima* L. і *Manihot palmate* L., нативного соргового крохмала — рослини восковидного сорго *Red leoti* L., нативного пшеничного крохмала — зерна рослин роду *Triticum*, нативного тритикалевого крохмала — зерна злакового рослини тритикале (*Tritikale*, від лат. *triticum* — пшениця і від лат. *secale* — рожь) — гібрид пшениці і ржи, нативного ржаного крохмала — зерен рослин *Secale cereale* L., нативного ячменного крохмала — зерна рослини *Hordeum vulgare* L., нативного овсяного крохмала — зерна рослини овса посівного *Avena sativa* L., нативного рисового крохмала — зерен рослин риса *Oryza sativa* L., нативного горохового крохмала — рослини гороха посівного *Pisum sativum* L., нативного амарантового крохмала — рослини щириці трьохцветной *Amaranthus tricolor* L. або інших рослин роду *Amaranthus*, нативного нутового крохмала — рослини нута культурного *Cicer arietinum* L.

Нативний крохмал — природний полімер, в якому мономерні (остатки  $\alpha$ -D-глюкопіранози) зв'язані  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4)- і  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6)-глюкозидними зв'язями, утворюючи амілозу (полісахарид лінійного будови) і амілопектин (полісахарид розгалуженого будови). Крохмальні фракції (амілоза і амілопектин) компактно упаковані в крохмальні зерна (або гранули) [1—3; 6—7; 12].



Источник крахмалосодержащего сырья и особенности структурной организации нативного крахмала во многом определяют технологические приемы, применяемые для максимально полного и щадящего извлечения зерен нативного крахмала из растительной клетки. Для получения нативного крахмала требуется подготовить к переработке растительное крахмалосодержащее сырье, разрушить растительную клетку, извлечь нативный крахмал, отмыть его при помощи чистой воды от сопутствующих примесей, обезвожить, высушить, расфасовать и упаковать. Так, известны способы переработки картофеля на крахмал с использованием разнообразных технологических схем, оснащенных различными видами применяемого для этих целей технологического оборудования. Однако независимо от аппаратного оформления каждый из этих способов включает стадии производства, которые свойственны всем современным технологиям производства картофельного крахмала: подготовка картофеля к переработке, измельчение, выделение картофельного (клеточного) сока и мезги, очистка крахмала, его обезвоживание и сушка [1; 3; 6; 7].

В настоящее время наиболее рациональным считается способ получения нативного картофельного крахмала, предусматривающий подготовку к переработке и измельчение крахмалосодержащего сырья, использование многоступенчатой гидроциклонной установки, на которой осуществляются операции разделения тонкоизмельченного крахмалосодержащего сырья на крахмальную суспензию и смесь мезги с другими побочными продуктами, а также впоследствии осуществляют частичное сгущение крахмальной суспензии, с последующим обезвоживанием, сушкой удалением металломагнитных примесей, фасовкой, упаковкой, маркировкой и транспортированием крахмала [7; 15].

Способы переработки зерна кукурузы на крахмал, предусматривающий пять обязательных стадий: предварительное размягчение структуры зерна кукурузы путем замачивания его в кислой среде, выделение и промывание зародыша, выделение и промывание мезги, выделение и концентрирование белка, промывание крахмала и его сушка [7; 15].

Наиболее оптимальным способом максимально возможно усовершенствовать технологию извлечения нативного крахмала, а также во многом отказаться от технологий химической модификации является использование (учитывание) в технологиях глубокой переработки крахмалосодержащего растительного сырья основополагающего научного принципа, который гласит что «структура вещества определяет (обуславливает) проявляемые им свойства».

Согласно полученных нами результатов, а также известных данных [1; 6; 7; 12—14] крахмальные зерна имеют овальную, сферическую или неправильную форму, их диаметр колеблется в пределах 0,001—0,2 мм. Крахмальные зерна разделяются на простые и сложные: простые зерна представляют собой однородные образования; сложные — сочетание более мелких частиц. Плотность крахмала равна в среднем  $1,5 \text{ кг/м}^3$  [3].

На основании анализа особенностей строения нативного крахмала можно сделать предположение, что основной структурной характеристикой строения нативного крахмала, обуславливающей его свойства, является крахмальное зерно (гранула). Так, особенности размера и формы крахмальных зерен

обуславлюють (определяют) проявление следующих свойств (характеристик) крахмала:

- количество связанной влаги (чем больше крахмальная гранула, тем больше связанной влаги имеется в крахмале и наоборот);

- температуру клейстеризации (чем больше крахмальная гранула, тем меньше температура ее клейстеризации и наоборот);

- соотношение крахмальных фракций разветвленной фракции амилопектина и линейной амилозы (формирование крахмальной гранулы обусловлено взаимодействием линейных участков амилопектина друг с другом или с амилозой);

- реологические характеристики крахмального клейстера (вязкость крахмального клейстера обусловлена соотношением крахмальных фракций амилопектина и амилозы).

Температура клейстеризации, количество связанной влаги, вязкость крахмального клейстера, соотношение крахмальных фракций, цвет йодной пробы и другие физико-химические свойства обуславливают (определяют) особенности размера и формы крахмальных зерен.

### Выводы

1. Основной структурной характеристикой строения нативного крахмала, обуславливающей его физико-химические свойства, является крахмальное зерно (гранула).

2. Выявлено большое разнообразие форм крахмальных зерен. Были идентифицированы крахмальные зерна правильной и неправильной овальной, округлой, многогранной формы.

3. Размеры крахмальных зерен колебались в следующих пределах: 60,0—0,5 мкм. Исследованные нативные крахмалы в зависимости от среднего размера крахмальных зерен можно расположить в ряд по уменьшению (мкм): картофельный (21,7±1,22), ржаной (21,2±2,36), гороховый (20,4±2,57), нутовый (14,8±0,93), тритикалевый (13,2±1,75), пшеничный (12,4±1,90), сорговый (11,0±0,76), ячменный (10,9±1,15), тапиоковый (10,6±0,50), кукурузный (9,8±0,42), овсяный (7,39±0,87), рисовый (5,3±0,29), амарантовый (1,1±0,04). Наибольший размер крахмальных зерен был отмечен у картофельного крахмала, а наименьший размер — у амарантового крахмала.

4. Установлено, что у семи нативных крахмалов (соргового, ячменного, овсяного, горохового, нутового, амарантового и кукурузного) распределение крахмальных зерен по размерам мономодальное (1-фракционное), у четырех (пшеничного, тритикалевого, картофельного и тапиокового) — бимодальное (2-фракционное), у двух (ржаного и рисового) — тримодальное (3-фракционное).

### Литература

1. Ловкис З.В. Технология крахмала и крахмалопродуктов: Учеб. пособ. / З.В. Ловкис, В.В. Литвяк, Н.Н. Петюшев; РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию». — Минск : Асобны, 2007. — 178 с.

2. Полумбрик М.О. Углеводы в пищевых продуктах / М.О. Полумбрик, В.В. Литвяк, З.В. Ловкис, В.Н. Ковбаса. — Минск: ИВЦ Минфина, 2016. — 592 с.

3. Справочник по крахмало-паточному производству / Д.Р. Абрагам [и др.]; под ред. Е.А. Штырковой, М.Г. Губина. — Москва : Пищевая промышленность, 1978. — 430 с.

4. Крахмал и крахмалопродукты / Н.Г. Глюк, А.И. Жушман, Т.А. Ладур, Е.А. Штыркова. — Москва : Агропромиздат, 1985. — 240 с.
5. Химия и технология крахмала: Промышленные вопросы: пер. с англ.: под ред. Роя Л. Уилстера и Энжена Ф. Пашаля. — Москва : Пищ. пром-сть, 1975. — 360 с.
6. *Kerr P.V.* Химия и технология крахмала / Р.В. Керр, Ж.В. Цезар, Л.М. Кристенсен и др.; под ред. Р.В. Керра; пер. с англ. — Москва : Пищепромиздат, 1956. — 579 с.
7. *Андреев Н.Р.* Основы производства нативных крахмалов. — Москва : Изд.: Пищепромиздат, 2001. — С. 289.
8. *Жушман А.И.* Модифицированные крахмалы / А.И. Жушман. — Москва: Пищепромиздат, 2007. — 236 с.
9. Крахмал картофельный. Технические условия: ГОСТ 7699-78. — Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18.10.1978 № 2709. — Москва, 1978. — 6 с.
10. Крахмал кукурузный. Технические условия: ГОСТ 7697-82. — Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 12.02.1982 № 584. — Москва, 1982. — 5 с.
11. *Рокицкий П.Ф.* Биологическая статистика / П.Ф. Рокицкий. — Минск, Выш. шк., 1973. — 320 с.
12. *Кретович В.Л.* Биохимия растений: учеб. / В.Л. Кретович. — Москва: Высш. шк., 1986. — 503 с.
13. *Литвяк В.В.* Атлас: морфология полисахаридов / В.В. Литвяк, Г.Х. Оспанкулова, Д.А. Шаймерденова, Н.К. Юркштович, С.М. Бутрим, Ю.Ф. Росляков. — Астана : ТОО «EDIGE», 2016. — 335 с.
14. *Литвяк В.В.* Крахмал и крахмалопродукты: монография / В.В. Литвяк, Ю.Ф. Росляков, С.М. Бутрим, Л.Н. Козлова; под ред. д-ра техн. наук, профессора Ю.Ф. Рослякова. — Краснодар : Изд. ФГБОУВПО «КубГТУ», 2013. — 204 с.
15. *Костенко В.Г.* Производство крахмала / В.Г. Костенко, А.Е. Овчинников, В.М. Горбатов. — Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1983. — 200 с.