

2. Dawson B. Comparing floating point numbers [Электронный ресурс] – Режим доступа до статті: <http://www.cygnussoftware.com/papers/comparingfloats/comparingfloats.htm>.
3. Thibault F. A numerical model for single screw extrusion with poly(vinyl chloride) (PVC) resins / F. Thibault, P. A. Tanguy, D. Blouin // Polymer Engineering & Science. – 1994. – V. 34. – Issue 18. – P. 1377–1386.
4. Covas J. A. An optimization approach to practical problems in plasticating single screw extrusion / J. A. Covas, A. G. Cunha, P. Oliveira // Polymer Engineering & Science. – 1999. – V. 39. – Issue 3. – P. 443–456.
5. Освальд Т. А. Литье пластмасс под давлением / Т. А. Освальд, Л.-Ш. Тунг, П. Дж. Грэмман; под ред. Э.Л. Калинчева. – СПб.: Профессия, 2006. – 712 с.

УДК 664.282

ТЕХНОЛОГИЯ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО КРАХМАЛОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

доктор техн. наук, доцент Литвяк В.В.

*РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,
г. Минск, Республика Беларусь*

канд. техн. наук, доцент Ермаков А.И., Заболотец А.А., Комисарова Е.И.

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Резюме - нативный (натуральный) крахмал – природный полимер, в котором мономеры (остатки α -D-глюкопиранозы) связаны α -(1 \rightarrow 4)- и α -(1 \rightarrow 6)-глюкозидными связями, образуя амилозу (полисахарид линейного строения) и амилопектин (полисахарид разветвленного строения). Амилоза и амилопектин компактно упакованы в крахмальные зерна (или гранулы) [1, 2]. Для промышленного использования крахмала огромное значение имеют морфологические особенности крахмальных зерен (формой и размерами), поэтому разработка технологии глубокой переработки растительного крахмалосодержащего сырья с получением однородных фракций крахмальных зерен, является актуальной задачей.

Введение. Ассортимент продукции крахмало-паточного производства довольно велик и составляет несколько сот наименований [1–8]. Крахмал и крахмалопродукты играют важную роль в народном хозяйстве. Они широко используются во многих отраслях пищевой промышленности: кондитерской, хлебопекарной, консервной, пищевых концентратной, 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.

В качестве основного сырья при получении крахмала и крахмалпродуктов используют картофель, кукурузу, пшеницу, рожь, ячмень, рис, гречиху, тапиоку и др. При разработке современных технологий глубокой переработке растительного крахмалосодержащего сырья важнейшим аспектом является изучение размеров и морфологической структуры крахмальных зерен.

Основная часть. 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 EMITECH K 550X.

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].

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].

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 нуттового – правильную овальную, у амарантового – многогранную.

Установлено, средний размер зерен нативного ржаного, пшеничного, тритикалевого, соргового, ячменного, рисового, горохового, нуттового, амарантового, тапиокового, картофельного, кукурузного, овсяного

соответственно, составит: 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. При этом минимальный и максимальный размер зерен нативного ржаного, пшеничного, тритикалевого, соргового, ячменного, рисового, горохового, нутового, амарантового, тапиокового, картофельного, кукурузного колебался в пределах: 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.

Все исследованные нативные крахмалы в зависимости от среднего размера крахмальных зерен можно расположить в ряд по уменьшению (\rightarrow): картофельный \rightarrow ржаной \rightarrow гороховый \rightarrow нутовый \rightarrow тритикалевый \rightarrow пшеничный \rightarrow сорговый \rightarrow ячменный \rightarrow тапиоковый \rightarrow кукурузный \rightarrow овсяный \rightarrow рисовый \rightarrow амарантовый. Наибольший размер крахмальных зерен был отмечен у картофельного крахмала, а наименьший размер – у амарантового крахмала.

В настоящее время известно, что плотность нативного крахмала равна в среднем $1,5 \text{ кг/м}^3$ (таблица 1) [5].

Таблица 1. – Плотность нативного крахмала (картофельного и кукурузного)

Наименования показателя	Нативный крахмал	
	Картофельный	Кукурузный
Плотность, кг/м^3		
-безводного	1633–1648	1591–1632
-воздушно-сухого	1500–1503	1528–1530
Массовая доля влаги безводного крахмала, %	17–20	13–16

Для промышленного производства крахмала большое значение имеет морфологические особенности крахмальных зерен перерабатываемого крахмалсодержащего сырья. Так, известно, что более крупные крахмальные гранулы клейстеризуются быстрее, чем мелкие [1]. Замечено, что температура клейстеризации крахмала и максимальная клейстеров в водно-пиридиновых смесях падают по мере уменьшения размера гранул.

Анализа особенностей строения нативного крахмала показал, что основной структурной характеристикой строения нативного крахмала, обуславливающей его свойства, является крахмальная гранула. Так, особенности размера и формы крахмальных гранул определяют проявление следующих характеристик:

1. Количество связанной влаги (чем крупнее крахмальная гранула, тем выше количество связанной влаги в крахмале и наоборот).
2. Температуру клейстеризации (чем крупнее крахмальная гранула, тем ниже температура ее клейстеризации и наоборот).
3. Соотношение амилопектина и амилозы (формирование крахмальной гранулы обусловлено взаимодействием линейных участков амилопектина друг с другом или с амилозой).
4. Реологические характеристики крахмального клейстера (вязкость крахмального клейстера обусловлена соотношением амилопектина и амилозы в крахмальной грануле).

Нами предлагается для осуществления тонкого регулирования физико-химических свойств нативного крахмала без использования модифицирующих (химических) факторов (т.е. для получения нативных крахмалов с целенаправленно измененными свойствами) проводить более глубокую переработку растительного крахмалосодержащего сырья дополнительно включив в технологическую схему получения нативного крахмала технологическую стадию разделения крахмальных гранул на фракции по размеру.

Предлагаемые нами наименования фракций крахмальных гранул нативного крахмала в соответствии с их размерами приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Наименования фракций крахмальных гранул нативного крахмала в соответствии с их размерами

Наименование фракции нативного крахмала	Размер фракции нативного крахмала, мкм
«Максимус»	150–200
«Макси»	100–150
«Пионер»	50–100
«Супериор»	30–50
«Прима»	20–30
«Секунда»	10–20

Анализ существующих технологий получения нативного крахмала и оборудования для разделения на фракции показал, что процесс разделения крахмальных гранул на фракции по размеру можно реализовать в газовой или жидкой средах. В обоих вариантах разделение наиболее целесообразно проводить в несколько стадий:

- 1 – просеивание или ситовое разделение, позволяющее с высокой точностью и производительностью разделять гранулы размером более 80 мкм;

2 - разделение в поле центробежных сил для выделения гранул в интервале размеров 80-30 мкм;

3 - фильтрация для выделения гранул в интервале размеров 10-30 мкм.

Использование предложенной технологической схемы разделения крахмальных гранул нативного крахмала на фракции в соответствии с их размерами позволит получить конечный продукт с определенными физико-химическими свойствами без использования модифицирующих (химических) факторов.

Заключение. Установлено, что одной из основных характеристик нативного крахмала, определяющие способы рационального выделения крахмала и большинство его физико-химических свойств, является морфология крахмальных гранул (форма и размер). Размер большинства гранул нативного крахмала колеблется в пределах – 20–80 мкм.

Для осуществления целенаправленного регулирования физико-химических свойств нативного крахмала без использования химических модифицирующих факторов предложено проводить более глубокую переработку растительного крахмалосодержащего сырья дополнительно включив в технологическую схему получения нативного крахмала технологическую стадию классификации крахмальных гранул по размеру.

ЛИТЕРАТУРА

1. Керр, Р.В. Химия и технология крахмала / Р.В. Керр, Ж.В. Цезар, Л.М. Кристенсен и др.; под ред. Р.В. Керра; пер. с англ. – М.: Пищепромиздат, 1956. – 579 с.

2. Андреев, Н.Р. Основы производства нативных крахмалов / Н.Р. Андреев. – М.: Пищепромиздат, 2001. – 289 с.

3. 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: Асобный, 2007. – 178 с.

4. 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.

5. Справочник по крахмало-паточному производству / Д.Р. Абрагам [и др.]; под ред. Е.А. Штырковой, М.Г. Губина. – М.: Пищ. пром-сть, 1978. – 430 с.

6. Крахмал и крахмалопродукты / Н.Г. Глюк, А.И. Жушман, Т.А. Ладур, Е.А. Штыркова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 240 с.

7. Химия и технология крахмала: Промышленные вопросы: пер. с англ.: под ред. Роя Л. Уилстера и Энжена Ф. Пашаля. – М.: Пищ. пром-сть, 1975. – 360 с.

8. Жушман, А.И. Модифицированные крахмалы / А.И. Жушман. – М.: 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 г. № 2709. – М., 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 г. № 584. – М., 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. – М.: 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 «КубГУ», 2013. – 204 с.

УДК 637.5.02

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСХОДОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБА КАК ФАКТОР КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

канд. техн. наук, доцент Литовченко И.Н.
Национальный университет пищевых технологий,
г. Киев, Украина

Резюме - эффективность работы малых и средних пищевых предприятий состоит из двух основных факторов: показателей качества продукции и энергозатрат на ее производство. Использование современных компьютерных средств позволило провести анализ путей расходования электрической и тепловой энергии при выпуске хлебобулочных изделий. Определены способы сокращения потерь энергии и повышения рентабельности производства.

Введение. Линия по производству хлебопекарной продукции - это сложный комплекс взаимосвязанных машин и аппаратов. От согласованности, синхронности действия отдельных устройств зависит качество конечного продукта. Не менее важна экономическая составляющая процесса производства хлеба: удельные затраты энергии на выпуск единицы продукции. Как правило, это количество энергии затрачиваемое на выпуск одной тонны готового хлеба.