

УДК 637.34

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСКРЕТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРИРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ЗАРОДЫШЕЙ ПШЕНИЦЫ

В.В. Мартич, Г.Е. Полищук, Е.В. Гончарук

Установлены рекомендованные режимы активации структурирующей способности гидратированных зародышей пшеницы в качестве технологически функциональных ингредиентов в составе мороженого. Изучены реологические характеристики водных дисперсий зародышей пшеницы, подвергнутых дискретно-импульсным энергетическим воздействиям при избыточном давлении 0,35–0,005 МПа, а также при атмосферном давлении 0,1–0,005 МПа в диапазоне температур 30 °С – 90 °С в течение 3 мин. Наиболее высокие структурирующие и тиксотропные свойства исследуемых систем наблюдались в водных дисперсиях зародышей пшеницы с избыточным давлением 0,35–0,005 МПа при температурах не ниже 60 °С. Установлен высокий стабилизационный эффект при использовании активированных зародышей пшеницы в составе низкокалорийного органического мороженого, в том числе при частичной замене молочных компонентов.

Введение

Большинство процессов молочной промышленности связано с переработкой дисперсных систем, структурно-механические свойства которых обуславливают используемое оборудование и режимы его работы.

Мороженое является одной из самых сложных пищевых систем, так как одновременно является суспензией, эмульсией и пеной. Его структуру можно целенаправленно формировать при использовании функционально-технологических добавок, а также применяя различные режимы и способы технологической обработки. Структурно-механические свойства смесей мороженого определяют способность систем сопротивляться деформации и разрушению под воздействием внешних сил [1].

На реологические характеристики мороженого влияют такие технологические операции, как гомогенизация, пастеризация, созревание, фризирование и закалка [2]. Мягкое мороженое имеет структуру коагуляционного типа, но после быстрого охлаждения до температуры минус 18 °С и ниже с последующим хранением при тех же температурах его структура становится ярко выраженной кристаллизационной [3].

Коагуляционный тип структуры формируется за счет либо непосредственного взаимодействия частиц, либо их контакта через тонкие слои жидкой дисперсионной среды. Коагуляционные контакты, как правило, появляются на лиофобных участках мозаичной поверхности частиц дисперсной фазы, что дает возможность использовать поверхностно-активные вещества, как для их ослабления, так и для усиления [4]. Для систем коагуляционного типа характерна тиксотропия – способность к восстановлению структуры после ее механического разрушения за счет броуновского движения молекул [5].

На физико-химические свойства многокомпонентных смесей мороженого влияют все виды органических веществ – белки, жиры и углеводы, поэтому использование новых видов натурального сырья требует дополнительного изучения. Авторами была предварительно подтверждена возможность применения зародышей пшеницы для обогащения мороженого и стабилизации его структуры [6], а также исследовано влияние гидротермической и механической обработки на структурирующую способность этого зернового компонента. Было установлено, что гомогенизация водных дисперсий зародышей пшеницы при давлении выше 10 МПа существенно снижает их структурирующую способность и вызывает аномальные явления инерционного уменьшения эффективной вязкости в условиях снижения приложенной к ним силы. Структурирующие и тиксотропные свойства были наиболее выражены в образцах гидратированных зародышей пшеницы, подвергнутых тепловой обработке при тем-

пературе 85 °С, в том числе в сочетании с гомогенизацией при давлении, не выше 10 МПа.

Поскольку активация растительного углеводо-белкового сырья возможна и при использовании принципиально иных способов обработки, целью исследований являлось изучение влияния дискретно-импульсных энергетических воздействий на структурирующую способность зародышей пшеницы. Для проведения эксперимента применяли вакуумную установку, которая состоит из вакуумной камеры, емкости для размещения исследуемых образцов, роторного вакуумного насоса, мановакуумметра и переходника. В начале опыта в вакуумную камеру закладывали нагретый до заданной температуры образец. После ее герметизации включали вакуумный насос и создавали разрежение от 0,1 МПа до 0,005 МПа или же избыточное давление 0,35 МПа до 0,005 МПа. В условиях вакуумирования температура кипения водных растворов находилась в пределах около 30 °С. Для разгерметизации опытной установки применяли трехходовой клапан, который соединял воздушное пространство камеры или с насосом, или с окружающей средой.

Для исследований были использованы зародыши пшеничные пищевые, в соответствии с ТУ У 45.22.014-95 «Зародыш пшеничный пищевой. Технические условия», изготовленные на ООО «Київмлин». Гидратацию зародышей, измельченных до размеров частиц не более 1 мм, проводили при нормальных условиях и гидромодуле 10:1 в течение 30 мин при периодическом перемешивании (контрольный образец). Опытные образцы гидратированных зародышей пшеницы подвергали дополнительной тепловой обработке при температуре 30, 60 и 90 °С и вакуумированию в течение 3 мин от избыточного давления 0,35 МПа до 0,005 МПа и от атмосферного давления 0,1 МПа до 0,005 МПа.

Опытные выработки мороженого молочного с зародышами пшеницы осуществляли на фризере периодического действия «Эльбрус-400» ФПМ 3,5/380-50 с частотой оборотов шнека-мешалки 200 мин⁻¹. Продолжительность охлаждения смеси составляла 2 мин, а фризирования – 3 мин. Температуру смеси на входе у фризера поддерживали в пределах 2...6 °С, а мороженого на выходе из фризера в диапазоне –4...–6 °С. Взбитость мороженого определяли весовым методом [7].

Реологические характеристики модельных систем исследовали с помощью ротационного вискозиметра «REOTEST II» (Германия) с измерительной системой цилиндр/цилиндр S/N путем снятия кривых кинетики деформации (течения) при температуре образцов 20 °С. Измерение напряжения сдвига Р (Па) проводили в диапазоне градиента скорости сдвига $\dot{\gamma}$ от 3 до 1312 с⁻¹ при прямом и обратном ходе.

Цель работы – изучение возможности повышения структурирующей способности зародышей пшеницы для их использования в качестве стабилизатора структуры мороженого.

Результаты исследований и их обсуждение

По результатам проведенных измерений были построены логарифмические зависимости вязкости от скорости сдвига для вакуумированных при остаточном (рисунок 1а) и избыточном давлении (рисунок 1б) водных дисперсий зародышей пшеницы. Стрелки указывают на направления прямого (вниз) и обратного (вверх) измерений.

Численные значения реологических характеристик гидратированных зародышей пшеницы при прямом и обратном ходе измерений, вакуумированных от атмосферного давления до 0,005 МПа в течение 3 мин при различных температурах, по сравнению с контрольным образцом, приведены в таблице 1.

В соответствии с рисунком 1а и таблицей 1, наиболее эффективное структурирование наблюдалось для систем, вакуумированных при температурах 60 и 90 °С. Наибольшая вязкость практически неразрушенной структуры (η_0) для этих образцов составляла, соответственно, 2439,6 мПа·с и 2876,3 мПа·с при напряжениях сдвига (R_{K1}) 13,2 Па и 15,5 Па. При дальнейшем увеличении напряжения сдвига разрушение надмолекулярных связей коагуляционной структуры преобладало над их восстановлением. Уменьшение вязкости систем наблюдалось, вероятно, вследствие разрушения поперечных связей, которые не успевают восстанавливаться. При постепенном уменьшении напряжения сдвига наблюдалась тиксотропия. Постепен-

ное восстановление структуры и возрастание ее прочности происходило не только в состоянии покоя, но и при скорости сдвига, меньшей той, которая приводила к разрушению первичной структуры.

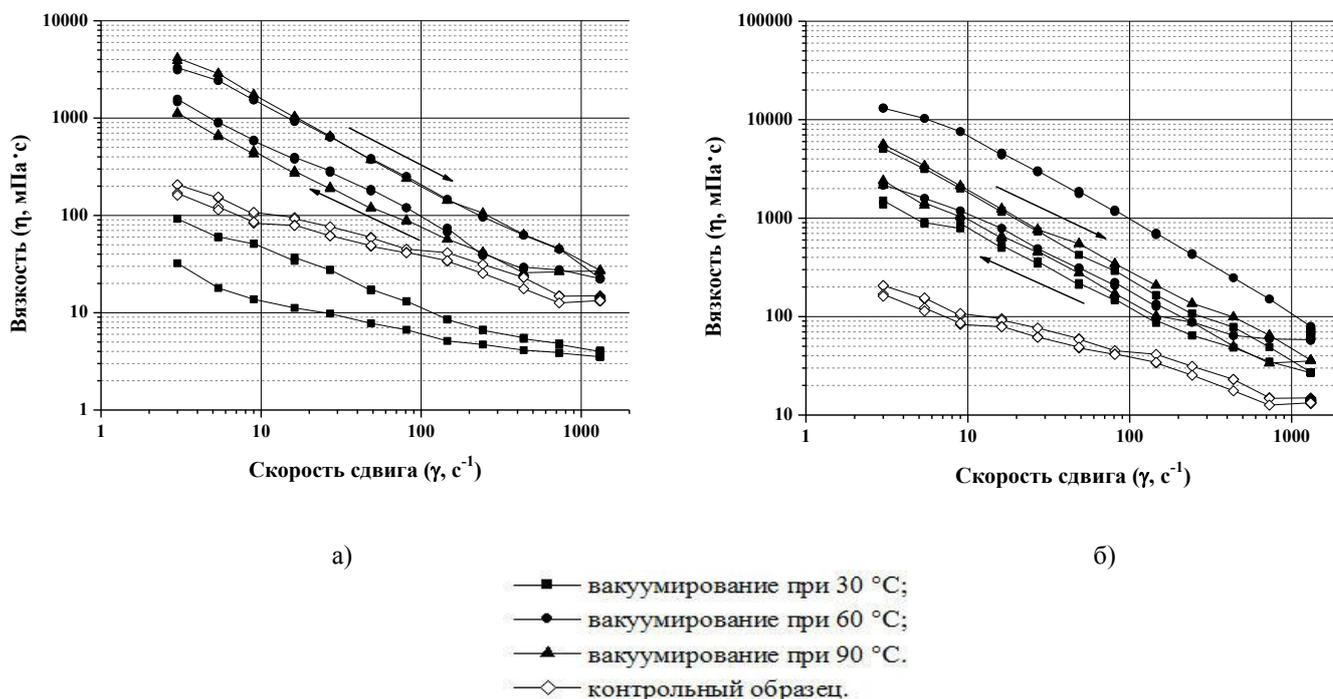


Рисунок 1 – Логарифмическая зависимость вязкости от скорости сдвига гидратированных зародышей пшеницы, провакумированных от остаточного давления 0,005 МПа (а) и от избыточного давления 0,35 МПа (б) до 0,1 МПа в течении 3 мин при различных температурах

Таблица 1 – Реологические характеристики водных дисперсий зародышей пшеницы, вакумированных при давлении в диапазоне от 0,1 до 0,005 МПа

№ образца	Условия подготовки образцов	Вязкость, мПа·с			Прочность, Па			R _{K1} /R _{K2}	P _m /P _{K1}
		η ₀	η _m	η ₀ -η _m	R _{K1}	R _{K2}	P _m		
1	Контрольный образец прямой ход	154	14	154-14	0,8	7,6	17,9	0,105	22,38
2	Контрольный образец обратный ход	122	14	122-14	0,66	6,2	17,9	0,106	27,12
3	Вакумирование при 30°C, прямой ход	60,3	3,7	60,3-3,7	0,33	1,6	4,8	0,21	14,55
4	Вакумирование при 30°C, обратный ход	17,9	3,7	17,9-3,7	0,1	1,1	4,8	0,11	48
5	Вакумирование при 60°C, прямой ход	2439,6	22,4	2439,6-22,4	13,2	23,4	29,4	0,56	2,23
6	Вакумирование при 60°C, обратный ход	906,9	22,4	906,9-22,4	4,9	9,6	29,4	0,51	6
7	Вакумирование при 90°C, прямой ход	2876,3	26,9	2876,3-26,9	15,5	25,7	35,3	0,6	2,23
8	Вакумирование при 90°C, обратный ход	672,2	26,9	672,2-26,9	3,6	10,1	35,3	0,36	9,81

η₀ – наибольшая вязкость практически неразрушенной системы (γ = 5,4 с⁻¹); η_m – наименьшая вязкость практически разрушенной системы (γ=1312,2с⁻¹); η₀-η_m – прочность структуры; R_{K1} – статический предел текучести (γ = 5,4 с⁻¹); R_{K2} – динамический предел текучести; P_m – напряжение практически разрушенной структуры (γ=1312,2с⁻¹); R_{K1}/R_{K2} – характеристика прочности образуемых связей; P_m/P_{K1} – характеристика диапазона напряжений, при которых разрушается структура

Согласно таблицы 1, наибольшая тиксотропность была характерна для образца, вакуумированного при температуре 60 °С. Максимальная вязкость практически неразрушенной структуры для него приблизительно на 35 % больше, в сравнении с η_0 образца, вакуумированного при температуре 90 °С. При этом прочность структурных связей (R_{K1}/R_{K2}), образующихся в восстановленной системе для образца, вакуумированного при температуре 60 °С, практически не изменялась. Для образца, вакуумированного при температуре 90 °С, прочность снижалась приблизительно на 40 %, по сравнению с первоначальным значением. Это дает основание утверждать, что вакуумирование водных дисперсий зародышей пшеницы при высоких температурах приводит к частичному разрушению макромолекул полисахаридов и белков. Следствием этого процесса является хрупкость структуры, даже при наличии запаздывающей тиксотропии.

Таким образом, гидратированные зародыши пшеницы лучше всего проявляют структурно-механические свойства и способность к восстановлению структуры под воздействием вакуумирования в интервале от 0,1 до 0,005 МПа в течение 3 мин при температуре 60 °С.

Численные значения реологических характеристик гидратированных зародышей пшеницы при прямом и обратном ходе измерения, вакуумированных в интервале давлений от 0,35 до 0,005 МПа в течение 3 мин при различных температурах, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Реологические характеристики гидратированных зародышей пшеницы, вакуумированных при давлении в диапазоне от 0,35 до 0,005 МПа

№ п/п	Условия подготовки образцов	Вязкость, мПа·с			Прочность, Па			R_{K1}/R_{K2}	R_m/R_{K1}
		η_0	η_m	$\eta_0-\eta_m$	R_{K1}	R_{K2}	R_m		
1	Контрольный образец прямой ход	154	14	154–14	0,8	7,6	17,9	0,105	22,38
2	Контрольный образец обратный ход	122	14	122–14	0,66	6,2	17,9	0,106	27,12
3	Вакуумирование при 30 °С, прямой ход	3185,9	27,2	3185,9–27,2	17,2	26	35,7	0,66	2,08
4	Вакуумирование при 30 °С, обратный ход	899,6	27,2	899,6–27,2	4,8	15,6	35,7	0,31	7,44
5	Вакуумирование при 60 °С, прямой ход	3422,2	35,9	3422,2–35,9	18,5	33	47,1	0,56	2,55
6	Вакуумирование при 60 °С, обратный ход	1425,9	35,9	1425,9–35,9	7,7	21,3	47,1	0,36	6,12
7	Вакуумирование при 90 °С, прямой ход	10307,4	70	10307,4–70	55,7	98	100	0,57	1,8
8	Вакуумирование при 90 °С, обратный ход	1588,9	70	1588,9–70	8,6	21,4	91,9	0,4	10,69

В соответствии с рисунком 1б и таблицей 2, структурирование вакуумированных систем возрастало с повышением температуры. При увеличении скорости сдвига, как и в предыдущих образцах, наблюдалась запаздывающая тиксотропия. При этом вязкость исследуемых структур становилась минимальной и постоянной до момента прекращения внешнего воздействия. В условиях постепенного замедления скорости сдвига для образцов, вакуумированных как от избыточного, так и от атмосферного давления, наблюдалась тиксотропия.

Согласно таблице 2, структурирование зародышей пшеницы было наибольшим после вакуумирования от избыточного давления 0,35 МПа до 0,005 МПа в течение 3 мин при температуре 60 °С.

Таким образом, для практического применения можно рекомендовать вакуумирование при давлениях от 0,1 МПа до 0,005 МПа при температуре не ниже 60 °С или от 0,35 МПа до 0,005 МПа при температуре 60 °С в течение 3 мин. Данные режимы обработки требуют довольно незначительного расхода тепловой энергии.

Зависимость вязкости от скорости сдвига во времени образцов, обработанных при рациональных режимах, приведены на рисунок 2 а, б.

В соответствии с рисунком 2, вязкость практически неразрушенной структуры образца, обработанного при перепаде давления от 0,35 МПа до 0,005 МПа больше η_0 образца, вакуумированного от 0,1 МПа до 0,005 МПа. Наблюдаемый эффект, вероятно, связан с существенным разрушением растительных клеток под воздействием вакуумирования при различном парциальном давлении внутри клетки и давлении, создаваемом вакуум-насосом. При вакуумировании от 0,1 МПа до 0,005 МПа разрушение растительных клеток было не столь значительным, в сравнении с вакуумированием в диапазоне от 0,35 до 0,005 МПа.

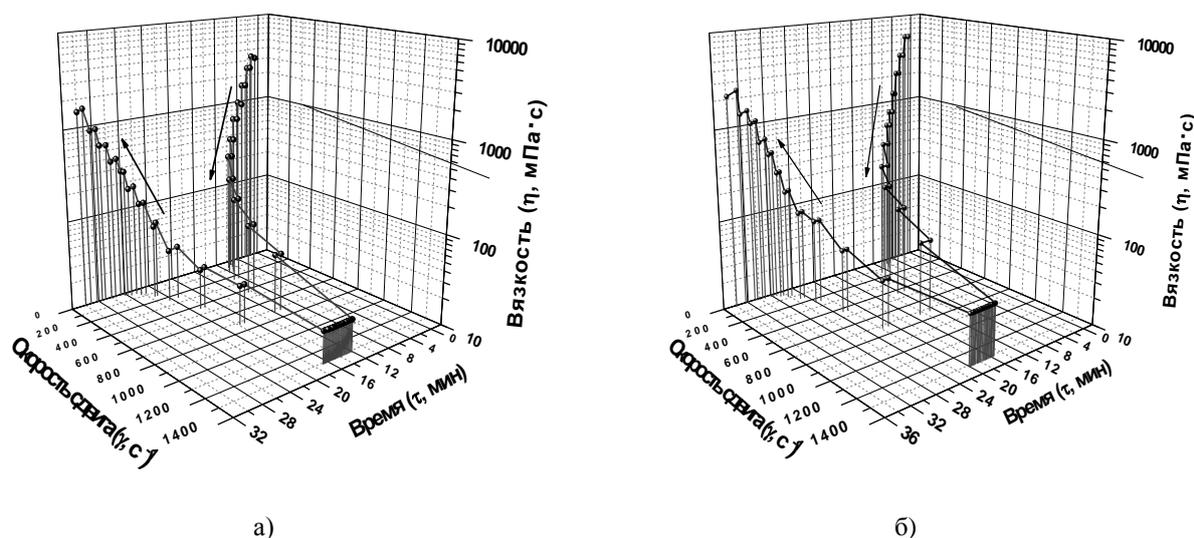


Рисунок 2 – Зависимости вязкости (η) от скорости сдвига (γ) во времени (τ) для гидратированных зародышей пшеницы, вакуумированных в диапазоне давлений от 0,1 МПа (а) и от 0,35 МПа (б) до 0,005 МПа при 60 °С

При вакуумировании от избыточного давления 0,35 МПа до 0,005 МПа эффект повышения структурирующих свойств зародышей пшеницы наблюдался при всех температурных режимах. Вязкость водных дисперсий зародышей с повышением температуры увеличивалась на 37-43 % при повышении температуры от 30 °С до 60...90 °С в пределах от 899,6 мПа·с и до 1425,9...1588,9 мПа·с. Вакуумирование, вероятно, оказывало определенное воздействие на целостность и свойства макромолекул высокомолекулярных веществ в составе зародышей пшеницы. В частности, содержание белков в них достигает 25-30 %, а углеводов – 38-42 %. Основную часть углеводов представляют полисахариды, входящие в состав растительных волокон [8]. Наибольшее влияние на структурирование оказывают водорастворимые углеводы (крахмал и пентозаны), протеины и фосфолипиды. На микрофотографиях вакуумированных образцов при увеличении 40x16 обнаружены либо частично, либо полностью разрушенные крахмальные зерна (рисунок 3 а, б). Причем, при вакуумировании от избыточного давления 0,35 МПа до 0,005 МПа, в сравнении с обработкой от 0,1 МПа до 0,005 МПа, этот эффект был значительнее.

Таким образом, авторами доказана эффективность и обоснованы режимы вакуумной обработки гидратированных зародышей пшеницы для использования их в качестве структурирующего компонента в составе мороженого.

В полупромышленных условиях были изготовлены опытные образцы органического мороженого молочно-пшеничного, содержащие 3 % зародышей пшеницы, вакуумированных при рекомендованных режимах, а также образцы мороженого молочного со стабилизационной системой Cremodan Ice Pro (“Danisco”, Дания) в количестве 0,6 %. В составе мороженого зародыши пшеницы частично заменяли 3 % сухого обезжиренного молочного остатка. Взбитость мороженого с зародышами, по сравнению с мороженым, содержащим стабилизационную систему, составляла 76...83 % против 83...85%, что являлось вполне удовлетворитель-

ным показателем. Кроме того, вывод о достаточно выраженной технологической эффективности зародышей пшеницы можно сделать, учитывая то, что взбитость молочного мороженого должна составлять в пределах от 60 до 80 % [9].

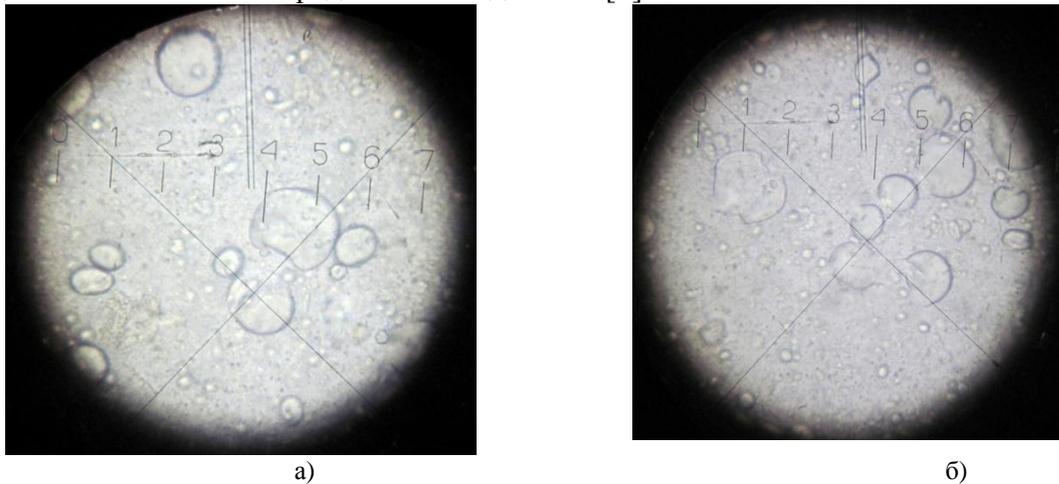


Рисунок 3 – Водные дисперсии зародышей пшеницы, вакуумированные от 0,1 МПа (а) и от 0,35 МПа (б) до 0,005 МПа при увеличении 10х16

Перспектива дальнейших исследований заключается в изучении состояния воды и хранимоспособности новых видов мороженого молочно-пшеничного, как продукта, изготавливаемого исключительно на натуральном и биологически полноценном сырье.

Заключение

Структурирующие свойства гидратированных зародышей пшеницы существенно повышаются под воздействием вакуумной обработки и наиболее выражены в образцах гидратированных зародышей пшеницы, подвергнутых вакуумированию при режиме от избыточного давления 0,35 МПа до 0,005 МПа в течение 3-х мин при температуре не ниже 60 °С. Микроструктурный анализ подвергнутых вакуумной обработке зародышей пшеницы позволяет предполагать, что повышение их структурирующей способности вызвано частичным разрушением крахмальных зерен. Получен достаточно высокий технологический эффект при применении активированных зародышей пшеницы, в составе молочного мороженого, в сравнении с традиционно используемой стабилизационной системой, на фоне частичной замены молочного сырья.

Литература

- 1 Rheological properties of ice cream mixes and frozen ice creams containing fat and fat replacers / S. Adapa, H. Dingeldein, K.A. Schmidt, T.J. Herald (Dept of Animal Sciences and Industry Kansas State University, Manhattan 66506, USA) // Journal Dairy Science. – 2000. – № 83 (10) October. – P. 24–29.
- 2 Marshall, R.T. Ice Cream / R.T. Marshall, H.D. Goff and R.W. Hartel. – [6th Edn.] – New York: Kluwer Academic, ISBN 0-306-47700-9, 2003. – 366 p.
- 3 Sommer, H.H. The theory and practice of ice cream making / H.H. Sommer. – [2th Edn.] – Madison: University of Wisconsin, 1935. – 639 p.
- 4 Dickinson, E. Advances in food Colloids / E. Dickinson, D.J. McClements. – Chapman & Hall, 1996. – 333 p.
- 5 Зимон, А.Д. Коллоидная химия: Учеб. для вузов / А.Д. Зимон, Н.Ф. Лещенко. – [3-е изд., доп. и испр.] – М.: АГАР, 2001. – 320 с.
- 6 Поліщук, Г.С. Дослідження фізико-хімічних властивостей зернових інгредієнтів як структуроутворювачів у виробництві морозива / Г.С. Поліщук, В.В. Мартич [та ін.] // Хранение и переработка зерна. – 2011. – № 6. – С. 56-58.
- 7 Справочник по производству мороженого / Ю.А. Оленев, А.А. Творогова, Н.В. Казакова, Л.Н. Соловьева – М.: ДеЛи принт, 2004. – 798 с.
- 8 Дорохович, Н.В. Использование нетрадиционного сырья в кондитерской промышленности: Справочник / Н.В. Дорохович, А.С. Острик, А.Н. Мироненко. – К.: Урожай, 1989. – 112 с.
- 9 Бартковський, І.І. Технологія морозива. Навчальний посібник / І.І. Бартковський, Г.С. Поліщук., Т.С. Шараматова, І.С. Гудз. — Київ : Фенікс, 2009. – 232 с.

Поступила в редакцию 02.06.2013