

УДК 663.674:664.7

Г.Є. Поліщук, канд. техн. наук,  
В.В. Мартин, асп.,  
Національний університет  
харчових технологій  
О.В. Гончарук, канд. хім. наук,  
В.І. Зарко, канд. хім. наук  
Інститут хімії поверхні  
ім. О.О. Чуйка НАНУ

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГІДРОТЕРМІЧНОГО ТА МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА СТРУКТУРУЮЧУ ЗДАТНІСТЬ ЗАРОДКІВ ПШЕНИЦІ

Встановлено рекомендовані режими активації функціонально-технологічних властивостей гідратованих зародків пшениці для їхнього застосування у технології морозива. Визначено ефективну в'язкість гідратованих зародків пшениці після теплового оброблення при температурі  $85 \pm 2$  °C, а також за змінного тиску гомогенізації в діапазоні 5...20 МПа. Виявлено, що при застосуванні тиску гомогенізації вище 10 МПа, у водних дисперсіях зародків проявляються аномальні явища інерційного зниження ефективної в'язкості. Доведено, що тиксотропні властивості найбільш виражені у зразків гідратованих зародків пшениці, що були піддані тепловому обробленню, у тому числі у сполученні з гомогенізацією за тиску, ще не перевищував 10 МПа. Підтверджено стабілізаційний ефект при застосуванні активованих зародків пшениці у складі низькокалорійного органічного морозива.

**Ключові слова:** в'язкість, зародки пшениці, суміші для морозива, морозиво.

Морозиво — це харчова дисперсна система, що є водночас піною, емульсією та суспензією. Формування надзвичайно складної структури цього продукту вимагає особливих умов проведення технологічного процесу. Його реологічні характеристики залежать як від хімічного складу сумішей, так і від режимів технологічного оброблення та виду застосованого обладнання [1].

У технології морозива основні технологічні операції, що впливають на консистенцію суміші та готового продукту, — це гомогенізація, пастеризація, визрівання, фризювання та загартування [2]. В процесі фризювання, особливо при виробництві морозива на потокових лініях, для ефективної аерації в умовах їхнього інтенсивного перемішування мішалками скребкового типу, надто висока в'язкість сумішей небажана. Але після фризювання, у статичних умовах, здатність рідкої фази сформованого м'якого морозива до самочинного відновлення низькоенергетичних міжмолекулярних зв'язків вкрай необхідна для збереження його структури протягом тривалого часу [3]. Тому тиксотропія є однією з найважливіших властивостей сумішей для виробництва морозива, яку слід детально вивчати.

Вагому роль у формуванні реологічних характеристик відіграють полісахариди та білки, що зв'язують воду, а також складна взаємодія між ними та іншими компонентами сумішей [3]. Звідси, застосування принципово нової сировини, що містить білки та полісахариди, вимагає вивчення її природних функціонально-технологічних властивостей та закономірностей їхньої зміни під дією зовнішніх (теплових, механічних та дискретно-імпульсних) впливів.

Авторами попередньо було вивчено можливість застосування зародків пшениці для збагачення морозива та стабілізації його структури [4]. Оскільки саме зсувні характеристики найбільш повно характеризують консистенцію рідиноподібних харчових систем, до яких належать суміші для виробництва морозива та водні дисперсії їхніх складових компонентів [5], виникла необхідність додаткового вивчення особливостей структурування гідратованих зародків пшениці, залежно від різних способів їхнього

© Г.Є. Поліщук, В.В. Мартин, О.В. Гончарук, В.І. Зарко, 2012

попереднього оброблення. З цієї метою було вивчено ступінь структурування та тиксотропні властивості гідратованих зародків пшениці до та після теплового оброблення, а також під дією змінного тиску при гомогенізації. Також було перевірено технологічні функції зародків пшениці у складі сумішей низькокалорійного молочного морозива.

Для досліджень було обрано зародки пшеничні харчові, відповідно до ТУ У 45.22.014-95 «Зародок пшеничний харчовий. Технічні умови», виготовлені на ВАТ «Київмлин», які попередньо подрібнювали до розмірів не більше 1 мм. Гідратацію зародків проводили при гідромодулі 10:1 і температурі розчинника 40...45 °С протягом 30 хв при періодичному перемішуванні (контрольний зразок).

Гідратовані у такий спосіб зародки піддавали додатковому тепловому обробленню за стандартного режиму пастеризації багатокомпонентних сумішей морозива періодичним способом:  $85 \pm 2$  °С впродовж 3-х хв. Гомогенізацію здійснювали за допомогою гомогенізатора клапанного типу («APV» Англія) за змінного тиску в діапазоні 5...20 МПа. Дослідні виробки морозива молочного із зародками пшениці на фризери періодичної дії «Ельбрус-400» ФПМ 3,5/380-50 з частотою обертів шнеку-мішалки 200 хв<sup>-1</sup>. Тривалість фризеравання суміші становила 3 хв. Температуру суміші на вході у фризери підтримували у межах 2...6 °С, а морозива на виході з фризера в діапазоні -4...-6 °С. Збитість морозива визначали ваговим методом [2].

Реологічні характеристики сумішей морозива досліджували за допомогою ротачійного віскозиметра «REOTEST II» (Німеччина) з вимірювальною системою циліндр/циліндр шляхом зняття кривих кінетики деформації (течії) при температурі зразків 20 °С. Оскільки гідратовані зародки пшениці відносяться до слабоструктурованих рідин, було обрано вимірювальний пристрій віскозиметра з найменшим співвідношенням радіусів співвісних циліндрів  $S/N$ , що дорівнював 0,44 із врахуванням калібрування використовованого приладу. Саме за таких умов градієнтний шар розповсюджувався на всю товщину шару продукту, розміщеного в кільцевому зазорі вимірювального пристрою віскозиметра.

Вимірювання напруги зсуву  $P$  (Па) проводили у діапазоні градієнта швидкості зсуву  $\gamma$  від 3 до 1312 с<sup>-1</sup> при прямому і зворотному ході. Для цього знімали показники  $b$  при максимальному куті відхилення стрілки на шкалі приладу [3, 5]. Для кожного досліді брали нову порцію продукту.

Напругу зсуву (Па) розраховували за формулою:

$$P = Z \cdot \alpha, \quad (1)$$

де  $Z = 0,44$  — константа циліндра, Па од. шкали;  $\alpha$  — вимірювальний показник шкали приладу.

Ефективну в'язкість (Па·с) обчислювали за формулою:

$$\eta = P/\gamma, \quad (2)$$

де  $\gamma$  — градієнт швидкості зсуву, с<sup>-1</sup>.

За результатами проведених вимірювань було побудовано логарифмічні залежності ефективної в'язкості від градієнта швидкості зсуву для гідратованих і термічно оброблених (рис. 1 а) та термічно й механічно оброблених (рис. 1 б) зародків пшениці. Стрілки вказують напрями прямого (вниз) та зворотного (уверх) вимірювань.

Чисельні значення окремих реологічних характеристик гідратованих зародків пшениці при прямому та зворотному ході вимірювання, порівняно із контрольним зразком, наведено у таблиці.

Відповідно до рис. 1 і таблиці, найефективніше структурування виявлено для гідратованих та термічно оброблених при 85 °С зародків пшениці. Ефективна в'язкість гранично незруйнованої структури термічно оброблених зародків ( $\eta_0$ ) становила 5760 мПа·с, а гомогенізованого при 15 МПа зразка — всього 211 мПа·с, що менше у 27,3 рази. Після зниження прикладеної сили та прояву тиксотропії ефективна в'язкість гранично зруйнованої надмолекулярної структури становила 1564 та 65 мПа·с відповідно, що менше

у 24,1 рази, тобто для порівнюваних зразків співвідношення в'язкості практично зберігається як для незруйнованої, так і для зруйнованої структури. Різниця міцності структурних зв'язків на початку та наприкінці вимірювання була майже однакою для термічно обробленого зразка, що не був гомогенізованим.

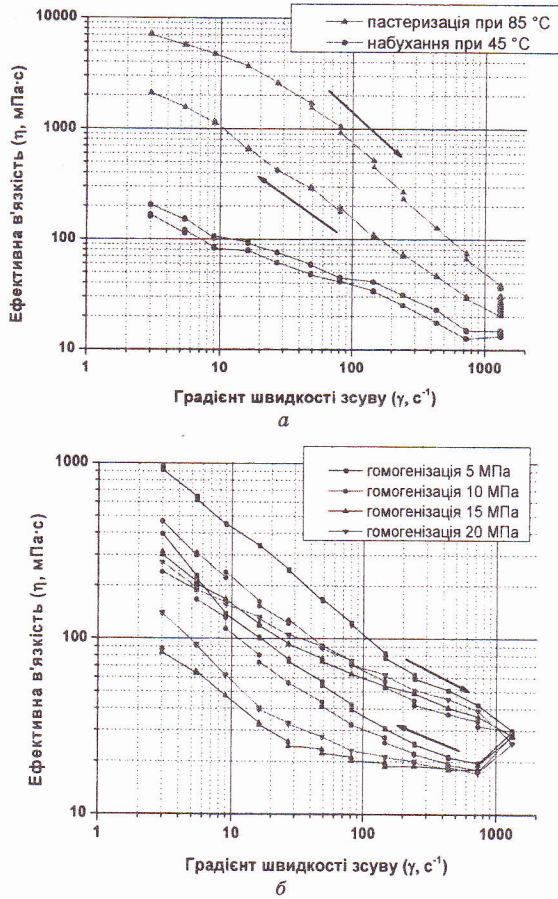


Рис. 1. Логарифмічні залежності ефективної в'язкості від градієнта швидкості зсуву для суспензій зародків пшениці гідратованих і термічно оброблених (а) та гомогенізованих (б)

Таблиця. Окремі реологічні характеристики гідратованих зародків пшениці різних ступенів оброблення

№ зразка	Система	В'язкість, мПа·с		Міцність, Па			$P_{K1}/P_{K2}$
		$\eta_0$	$\eta_m$	$P_{K1}$	$P_{K2}$	$P_m$	
1	Гідратована (45 °С, 30 хв) прямий хід	154	14	0,8	7,6	17,9	0,105
2	Гідратована (45 °С, 30 хв) зворотний хід	122	14	0,66	6,2	17,9	0,106
3	Пастеризована (85 °С, 3 хв) прямий хід	5760	23	21	32	65	0,656
4	Пастеризована (85 °С, 3 хв) зворотний хід	1564	23	8,5	18	32	0,472
5	Гомогенізована (5 МПа) прямий хід	648	30	1,5	13,3	38	0,113
6	Гомогенізована (5 МПа) зворотний хід	228	30	1	4,7	38	0,213
7	Гомогенізована (10 МПа) прямий хід	310	28,8	3,3	16,6	39,2	0,084

Закінчення табл.

№ зразка	Система	В'язкість, мПа·с		Міцність, Па			Рк <sub>1</sub> /Рк <sub>2</sub>
		η <sub>0</sub>	η <sub>m</sub>	Рк <sub>1</sub>	Рк <sub>2</sub>	Рm	
8	Гомогенізована (10 МПа) зворотний хід	189	28,8	1,1	5,2	39,2	0,212
9	Гомогенізована (15 МПа) прямий хід	211	28	1	14	36,5	0,071
10	Гомогенізована (15 МПа) зворотний хід	65	28	0,7	7	36,5	0,1
11	Гомогенізована (20 МПа) прямий хід	195	25,4	1	13,7	33,3	0,073
12	Гомогенізована (20 МПа) зворотний хід	93	25,4	0,5	3,9	33,3	0,128

Умовні позначення: η<sub>0</sub> — ефективна в'язкість гранично незруйнованої структури (при γ = 5,4 с<sup>-1</sup>); η<sub>m</sub> — ефективна в'язкість гранично зруйнованої структури (при γ = 1312,2 с<sup>-1</sup>); Рк<sub>1</sub> — статична межа течії (при γ = 5,4 с<sup>-1</sup>); Рк<sub>2</sub> — динамічна межа здатності до плинності; Рm — міцність структурного каркасу надмолекулярних зв'язків (γ = 1312,2 с<sup>-1</sup>); Рк<sub>1</sub>/Рк<sub>2</sub> — міцність структурних зв'язків.

Відповідно до таблиці, найбільша тиксотропність характерна для зразка, обробленого при 85 °С, задовільна — для зразків, гомогенізованих при 5 та 10 МПа і найменша — при застосуванні тиску гомогенізації 15 та 20 МПа.

Динаміку зміни в'язкості для систем, що характеризуються найбільшою та найменшою тиксотропністю, наведено на рис. 2.

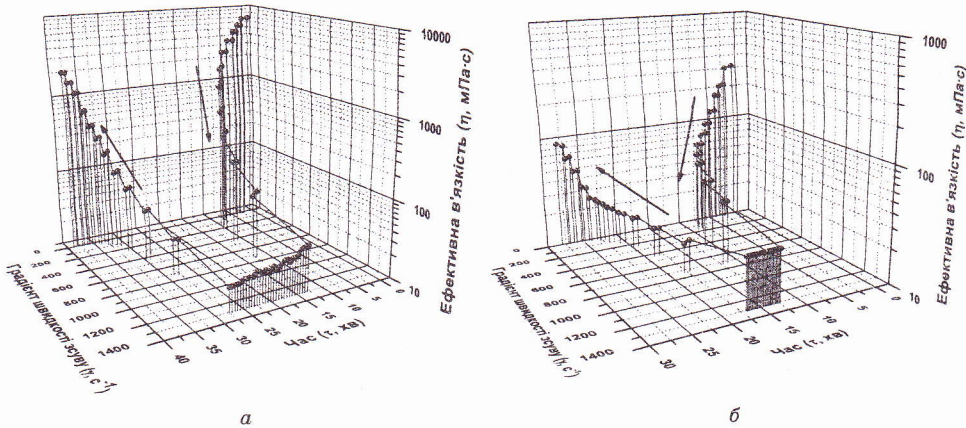


Рис. 2. Залежність ефективної в'язкості (η) від швидкості зсуву (γ) в часі (τ) для суспензій зародків пшениці, що були піддані тепловому обробленню при 85 °С (а) та гомогенізовані за тиску 15 МПа (б)

Відповідно до рис. 2 б, видно, що під впливом гомогенізації у водних дисперсіях пшеничних зародків проявляється аномальне явище інерційного зменшення в'язкості в умовах зниження швидкості зсуву в діапазоні від 1312 до 729 с<sup>-1</sup>. У діапазоні швидкостей зсуву від 729 до 81 с<sup>-1</sup> в'язкість гомогенізованого зразка стабілізувалася, а тиксотропія спостерігалася лише у короткому проміжку при знятті прикладеної сили від 81 до 3 с<sup>-1</sup>. Для гідратованих пастеризованих зародків (рис. 2 а) вказаної аномалії не виявлено. Отже, надмірний вплив високого тиску на рослинні білки та полісахариди може призводити до їхньої часткової деструкції та послаблення міжмолекулярних зв'язків, навіть при поступовому зниженні прикладеної до них сили.

Суттєва втрата гомогенізованим зразком здатності до структурування додатково підтверджується значно меншим часом досягнення сталого значення в'язкості зруйнованої системи при максимальному градієнті швидкості (рис. 2б) — усього до 5 хв, порівняно із довшим часом — до 12,5 хв (рис. 2 а) для не гомогенізованого зразка.

Порівняльний аналіз поведінки модельних систем в умовах змінного градієнта швидкості довів, що гомогенізація за тиску вище 10 МПа суттєво знижує здатність до структурування та тиксотропність гідратованих зернових компонентів. Таким чином, зразки, що були піддані гомогенізації при тиску 15 та 20 МПа, не можуть бути рекомендовані для застосування у складі сумішей морозива. У свою чергу, виключення із технологічного циклу гомогенізації неприйнятне у технології морозива з-за можливої неоднорідності структури готового продукту, тому було обрано наступні режими оброблення зародків пшениці (окремо або у складі сумішей): 85 °С за тиску гомогенізації 5...10 МПа.

Для перевірки ефективності встановлених режимів оброблення зернового компоненту було виготовлено дослідні зразки органічного морозива молочно-пшеничного, що містять 3 % зародків пшениці, гомогенізованих при 10 МПа, та морозива молочного зі стабілізаційною системою Cremodan Ice Pro («Danisco», Данія) у кількості 0,6 %. Збитість морозива із зародками, порівняно із морозивом, що містить стабілізаційну систему, становила на рівні 75...79 % проти 78...85 %, що є цілком задовільним, зважаючи на те, що до складу стабілізаційної системи додатково входять ефективні піноутворювачі й емульгатори — моно- та дигліцериди жирних кислот. Окрім того, висновок щодо достатньо вираженої технологічної ефективності зародків пшениці можна зробити, зважаючи на те, що збитість молочного морозива має становити у межах від 60 до 80 % [6].

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні можливості часткової заміни сухого знежиреного молочного залишку на зародки пшениці з метою подальшого вибору та впровадження найбільш ефективних та енергоощадних інноваційних рішень.

**Висновки.** Гомогенізація водних дисперсій зародків пшениці за тиску вище 10 МПа суттєво знижує їхню структурувальну здатність та спричинює аномальні явища інерційного зменшення ефективної в'язкості в умовах зниження прикладеної до них сили.

Структуруючі та тиксотропні властивості найбільш виражені у зразках гідратованих зародків пшениці, що були піддані тепловому обробленню при температурі 85 °С, у тому числі у сполученні з гомогенізацією за тиску, ще не перевищує 10 МПа.

Одержано достатньо високий технологічний ефект при застосуванні зародків пшениці у складі низькокалорійного органічного морозива.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Косой В.Д.* Инженерная реология в производстве мороженого / В.Д. Косой, Н.И. Дунченко, А.В. Егоров. Ї М.: ДеЛи принт, 2008. — 196 с.
2. *Marshall, R. T., Н. D. Goff and R. W. Hartel.* 2003. Ice Cream, 6th Edn. New York: Kluwer Academic. ISBN 0-306-47700-9, 366 pp.
3. *Косой В.Д.* Контроль качества молочных продуктов методами физико-химической механики / В.Д. Косой, М.Ю. Меркулов, С. Б. Юдина. Ї СПб.: ГИОРД, 2005. — 208 с.
4. *Полищук Г.Є.* Дослідження фізико-хімічних властивостей зернових інгредієнтів як структуроутворювачів у виробництві морозива / Г.Є. Полищук, В.В. Мартич [та ін.] // Хранение и переработка зерна. Ї 2011. Ї № 6. Ї С. 56 Ї 58.
5. *Мачихин Ю.А.* Реометрия пищевого сырья и продуктов, Справочник под. ред. Мачихина Ю.А. / Ю.А. Мачихин, А.В. Горбатов, А.С Максимов. Ї М.: Агропромиздат, 1990. — 271 с.
6. *Бартковский И.И.* Технология морозива. Навчальний посібник / И.И. Бартковский, Г.Є. Полищук., Т.Є. Шарахматова. Ї Київ : Фенікс, 2009. — 232 с.

*Г.Є. Полищук, В.В. Мартич,  
Е.В. Гончарук, В.И. Зарко*

**Исследование влияния гидротермической и механической обработки на структурирующие свойства зародышей пшеницы**

*Установлены рекомендованные режимы активации функционально-технологических свойств гидратированных зародышей пшеницы для их использования*

*в технологии мороженого. Исследована эффективная вязкость гидратированных зародышей пшеницы после тепловой обработки при температуре  $85 \pm 2$  °C, а также после гомогенизации под давлением 5...20 МПа. Установлено, что при превышении давления гомогенизации более 10 МПа в водных дисперсиях зародышей проявляется аномальное инерционное уменьшение вязкости. Доказано, что тиксотропные свойства наиболее выражены для образцов гидратированных зародышей пшеницы, которые предварительно термически обрабатывали, в том числе в сочетании с гомогенизацией под давлением, не превышающем 10 МПа. Подтвержден стабилизирующий эффект при использовании активированных зародышей пшеницы в составе низкокалорийного органического мороженого.*

*Ключевые слова: эффективная вязкость, зародыши пшеницы, смеси для мороженого, мороженое.*

*G.E. Polischuk, V.V. Martich,  
E.V. Goncharuk, V.I. Zarko*

**Research of influence of hydrothermal and mechanical treatment  
on structure-forming ability of embryos of wheat**

*Set to the recommended mode activation of functional and technological properties of the hydrated embryos of wheat for their use in technology of ice-cream.*

*Investigated the effective viscosity of the hydrated effective viscosity of the hydrated embryos of wheat after heat treatment at a temperature of  $85 \pm 2$  degree Celsius, and after homogenization under 5...20 MPa.*

*It is set that at exceeding of pressure of homogenization more than 10 MPa the anomalous inertial diminishing of viscosity shows up in water dispersions embryos of wheat.*

*It is well-proven that thixotropic properties are most expressed for the standards of the equated embryos of wheat which preliminary processed thermally, including in combination with homogenization under constraint, not exceeding 10 MPa. A stabilizing effect is confirmed at the use of the activated embryos of wheat in composition a low-caloric organic ice-cream.*

*Key words: effective viscosity, embryos of wheat, mixtures for an ice-cream, ice-cream.*

*e-mail: milknuft@i.ua*

*Надійшла до редколегії 10.04.2012 р.*