

УДК 665.1/3

Исследование структурно-механических свойств бездрожжевого бисквитного теста на основе полножирной муки из семян льна

Д-р техн. наук Г. В. АЛЕКСЕЕВ¹, д-р техн. наук В. Н. КРАСИЛЬНИКОВ²,
М. С. КИРЕЕВА

¹gva2003@rambler.ru, ²protein@peterstar.ru

Университет ИТМО

Институт холода и биотехнологий

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

При создании новой рецептуры бисквита для специализированного питания важным фактором является изучение биохимических (белки, липиды, полисахариды) и структурно-механических свойств теста (вязкость, текучесть, пластичность, упругость, прочность). Исследование структурно-механических характеристик позволяет направлено вести технологический процесс с целью получения продукта с заданными свойствами. В настоящей работе исследовано изменение структурно-механических характеристик бездрожжевого бисквитного теста от свойств используемой муки. В качестве основного сырья взята полножирная мука из семян льна разных сортов. Обработка результатов испытаний позволила установить, что вязкость льняного теста зависит от соотношения нейтральных и кислых фракций полисахаридного комплекса. Кроме того установлена прямая связь между вязкостью теста и упругостью готового изделия. Чем больше вязкость теста, тем меньше готовое изделие обладает пластической деформацией.

Ключевые слова: реология, бисквитное тесто, семена льна.

Structure-mechanical characteristics of non-yeast sponge cake on base of full fat flax flour

D. Sc. G. V. ALEKSEEV¹,

D. Sc. V. N. KRASILNIKOV², M. S. KIREEVA

¹gva2003@rambler.ru, ²protein@peterstar.ru

University ITMO

Institute of Refrigeration and Biotechnologies

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

While making a new recipe for a specialized nutrition the study of biochemical (proteins, lipids, polysaccharide) and structure-mechanical properties (viscosity, fluidity, plasticity, elasticity, firmness) are of great importance. The analyses of structure-mechanical characteristics allow technological process to get food product of the desired properties. The change of structure-mechanical characteristics of non-yeast sponge cake depending on flour properties has been analyzed. Full fat flour from different species of flax has been used. It has been proved that viscosity of the flax dough depends on the proportion of the neutral and acid fraction of the polysaccharide complex. In addition, direct correlation between dough viscosity and the elasticity of finished product has been found out. The more viscous the dough is the less plastic deformation finished product is subjected to.

Keywords: rheology, sponge cake, flax seeds.

ее упругости, в результате чего получается бисквит более жесткой, плотной структуры. При создании новой рецептуры бисквита для специализированного питания встает задача не только замены традиционной пшеничной муки на муку, которая не содержит глютена, т.е. клейковины, но и сохранение у муки высокой пищевой ценности. В связи с этим, в практическом отношении для различных рецептур, важно изучение биохимических (белки, липиды, полисахариды) и структурно-механических свойств теста (вязкость, текучесть, пластичность, упругость, прочность).

Реологические характеристики находятся в тесной зависимости от внутренней структуры вещества. Поэтому данные измерений структурно-механических характеристик позволяют направлено вести технологический процесс с целью получения продукта с заданными свойствами.

Академиком Горбатовым А. В. [1] было отмечено, что эффективная вязкость является итоговой характеристикой, описывающей равновесное состояние между процессами восстановления и разрушения структуры.

Цель данной работы состоит в экспериментальном определении основных реологических характеристик, за счет которых происходит формирование бисквитного теста из полножирной льняной муки.

Задачами исследования являются:

- определение основных реологических характеристик бисквитного теста: вязкость и напряжение сдвига;
- сравнительное исследование реологических свойств бездрожжевого теста из полножирной муки, полученной путем размола семян льна различных сортов;
- изучение влияния синергизма основных нутриентов (полисахариды, белки) и рецептурных компонентов (яйца, сахар, крахмал) на реологию теста;
- определение констант реологического уравнения состояния бисквитного теста и их анализ.

Особенностью приготовления бисквитного теста является кратковременный замес сбитой яично-сахарной массы с мукой. Это позволяет уменьшить по возможности набухание клейковины, что приводит к увеличению

В соответствии с целью и задачами работы, объектами исследований являлись семена льна-долгунца сорта «Белоснежка», масличного сорта «ЛМ 98» и «ЛМ 97», «Норлин» урожая 2000–2011 гг. Образцы семян льна получены из коллекции ВНИИ Льна (г. Торжок). Критерием отбора образцов послужил уникальный жирнокислотный состав и окрас семян льна. Другими объектами исследований являлись тесто для бисквита и выпеченный бисквит, приготовленный на основе измельченных семян льна. Контрольными образцами являлись — тесто для бисквита и выпеченный бисквит, приготовленные по традиционной рецептуре и технологии из пшеничной муки.

Бисквитное льняное тесто по своим реологическим свойствам относится к структурированным неньютоновским системам, которые от пшеничного теста отличаются повышенной вязкостью.

Динамическую вязкость теста определяли на ротационном вискозиметре «Реотест-2» (рабочее тело S3). Измерения проводили при комнатной температуре (20 °C).

На представленных кривых максимум вязкости при скоростях сдвига от 0 до 30 с⁻¹ (рис. 1).

Интересно отметить существенные различия кривых течения теста из семян льна, отличающихся по своей окраске.

Во-первых, при одинаковой скорости сдвига (10 с⁻¹) вязкость теста из полисахаридной льняной муки из коричневых семян (сорт «Норлин») приблизительно в 2 раза выше, чем вязкость теста из коричневых семян (сорт «ЛМ 97») и желтых семян (сорт «ЛМ 98», «Белоснежка»).

Во-вторых, максимум вязкости при низких скоростях сдвига для теста из муки из семян сорта «Белоснежка», «ЛМ 98», «ЛМ 97» наблюдаются при более низких скоростях сдвига и менее выражен по абсолютной величине по сравнению с максимумом вязкости для теста из семян сорта «Норлин», который отличен при высоких скоростях сдвига (около 10 с⁻¹).

Как известно, в формировании гелеобразной псевдопластичной структуры теста участвуют белковый и полисахаридный комплекс семян. Тем не менее, белковые комплексы желтых и коричневых семян электрофоретически близки как по составу глобулинов, так и по их относительному содержанию [2, 3]. Данные обстоятельства позволя-

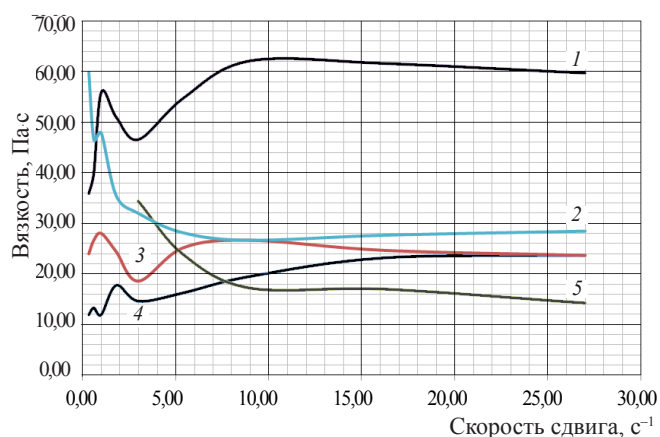


Рис. 1. Зависимость динамической вязкости бисквитного теста из муки семян разного сорта от скорости сдвига:

1 — сорт «Норлин»; 2 — «Белоснежка»; 3 — «ЛМ 97»; 4 — «ЛМ 98»; 5 — контрольный образец

ют предполагать, что наблюдаемое различие вязкостных характеристик этих четырех видов теста обусловлено различием в составе и в свойствах полисахаридного комплекса (табл. 1) семян различного генотипа.

Ксилоза играет важную роль в вязкости, с ее увеличением, увеличивается вязкость раствора [4, 5]. Так у семян сорта «Норлин» в слизи концентрируется большое количество ксилозы (10,78 мг/г ± 1,61) по сравнению с другими образцами.

Так же не малую роль в определении вязкости играет и галактуроновая кислота, так как от нее зависит количество кислой фракции в составе слизи семян льна, что в свою очередь определяет вязкость раствора. У сорта «Белоснежка» и «ЛМ 97» содержание галактуроновой кислоты составляет 156,67 мг/г ± 23,50 и 70,20 мг/г ± 10,53 соответственно.

По содержанию галактозы выделяется среди четырех образцов семена сорта «ЛМ 98».

Так же из таблицы видно, что для семян желтого/оливкового окраса типично большое количество фукозы, глюкозы, галактозы.

Слизь льна состоит из нейтральной и кислой фракции. Главной частью нейтральной фракции является пентозан-арабиноксилан его содержание оценивается исходя из содержания ксилозы и арабинозы. Кислая

Таблица 1

Содержание углеводных компонентов в семенах льна

Сорт	«Норлин»	«ЛМ 97»	«Белоснежка»	«ЛМ 98»
Показатель				
Пентозаны водорастворимые, %	4,20±0,42	6,54±0,65	2,55±0,26	5,51±0,55
Пентозы				
Ксилоза, мг/г	10,78±1,61	7,50±1,12	—	5,44±0,82
Арабиноза, мг/г	5,64±0,84	24,37±3,66	29,65±4,45	43,03±6,45
Гексозы				
Фукоза, мг/г	1,27±0,19	8,68±1,30	25,34±3,80	24,41±3,66
Глюкоза, мг/г	3,81±0,57	7,47±1,12	39,52±5,93	85,06±12,76
Рамноза, мг/г	6,76±1,00	3,92±0,59	15,16±2,27	18,88±2,83
Галактоза, мг/г	5,44±0,82	12,32±1,85	35,97±5,40	143,03±21,45
Галактуроновая кислота, мг/г	0,82±0,12	70,20±10,53	156,67±23,50	23,49±3,52

Таблица 2

Содержание кислых и нейтральных полисахаридных фракций в семенах льна четырех сортов

Сорт	Цвет семян	Полисахаридные фракции	
		Кислая фракция	Нейтральная фракция
«Норлин»	коричневый	22,0%	47,6%
«Белоснежка»	оливковый	56,8%	9,8%
«ЛМ 98»	желтый	12,3%	14,1%
«ЛМ 97»	темно-коричневый	55,1%	23,8%

фракция — это рамногалактуронан 1, он состоит из «скелетной» цепи, образующейся чередующимися остатками рамнозы и галактуроновой кислоты.

Согласно данным работы [6], слизи, экстрагированные из желтых семян, имеют более выраженные реологические свойства, чем слизи из коричневых семян, что обусловлено присутствием в них заметно более низкого содержания кислотной фракции и более высоким количеством нейтральных полисахаридов.

Из табл. 2 видно, что слизи семян льна сорта «ЛМ 98» имеют типичный состав для желтых семян, в отличие от слизи семян сорта «Белоснежка». Это объясняется тем, что в сорте «Белоснежка» содержится большое количество галактуроновой кислоты, по сравнению с сортом «ЛМ 98». Та же самая картина наблюдается у семян льна с коричневой окраской сорта «Норлин» и «ЛМ 97».

Кривые течения бисквитного теста при комнатной температуре и градиенте скорости от 0 до 30 с⁻¹ можно описать уравнением Оствальда–Де Вилля:

$$\tau = a \gamma^n,$$

где τ — напряжение сдвига, Па; γ — скорость сдвига, с⁻¹; n — индекс течения, характеризующий темп разрушения структуры и показывающий степень отклонения от ньютоновского течения; a — коэффициент консистенции, характеризующий эффективную вязкость при единичном значении скорости сдвига (табл. 3).

Значение коэффициентов определялось из графиков зависимости касательного напряжения от скорости сдвига (рис. 2).

При анализе коэффициентов n , a можно сделать следующие выводы:

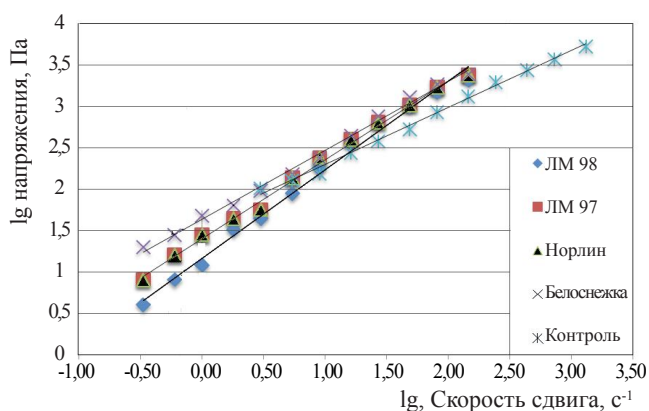


Рис. 2. Зависимость напряжения от скорости сдвига с использованием муки из семян льна

— у образцов бисквитного теста из семян льна сорта «Белоснежка» коэффициент a такой же, как и у аналогичных образцов теста из пшеничной муки, что говорит о его большей вязкости;

— значение коэффициента n у образцов теста из семян льна 4 сортов ближе к единице, что говорит о большом приближении теста из льняной муки к течению ньютоновской жидкости и более плавном изменении касательного напряжения от градиента скорости. Индекс течения n находится в прямой зависимости от количества водорастворимых пентозанов;

— по значению коэффициента n зависимости вязкости всех исследуемых образцов льняного теста от скорости сдвига являлись близкими друг к другу, но больше значения коэффициента n для пшеничной муки, что говорит о способности льняных полисахаридов создавать более вязкие растворы. Что может позволить уменьшению закладки яиц и муки в рецептуру бисквита.

Определения структурно-механических свойств готовых изделий под воздействием нагрузки провели с помощью структурометра СТ-2. Полученные данные приведены в табл. 4.

По данным табл. 4 был построен график зависимости деформации от нагрузки (рис. 3).

Как видно из табл. 4 и графиков, самой меньшей упругой деформацией обладает бисквит, выпеченный из льняной муки сорта «Норлин» (0,27 мм). Самой большой упругой и пластичной деформацией бисквит из льняной муки сорта «ЛМ 98» (2,93 мм и 4,02 мм соответственно). Значит бисквит из льняной муки сорта «ЛМ 98» менее плотный и более сжимаемый. Остальные бисквиты имеют незначительное расхождение. Значение

Таблица 3

Значение эмпирических коэффициентов уравнения Оствальда–Де Вилля

Тип муки	Реологические константы		
	Индекс течения, n	Коэффициент консистенции, a	Величина достоверности аппроксимации
Льняная мука из семян сорта «ЛМ 98»	1,07	1,16	0,99
Льняная мука из семян сорта «ЛМ 97»	0,95	1,40	0,99
Льняная мука из семян сорта «Норлин»	0,95	1,40	0,99
Льняная мука из семян сорта «Белоснежка»	0,83	1,63	0,99
Пшеничная мука (контроль)	0,69	1,61	0,99

Деформационные характеристики бисквитных изделий из семян льна

Сорт	$H_{\text{общ}}, \text{ мм}$	$H_{\text{пл}}, \text{ мм}$	$H_{\text{упр}}, \text{ мм}$
«Белоснежка»	2,906	1,375	1,531
Контроль	3,641	2,296	1,345
«ЛМ-97»	4,242	2,750	1,492
«Норлин»	2,258	1,992	0,266
«ЛМ-98»	6,945	4,016	2,929

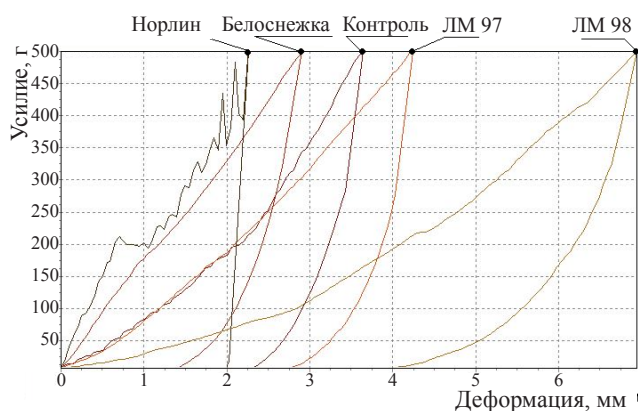
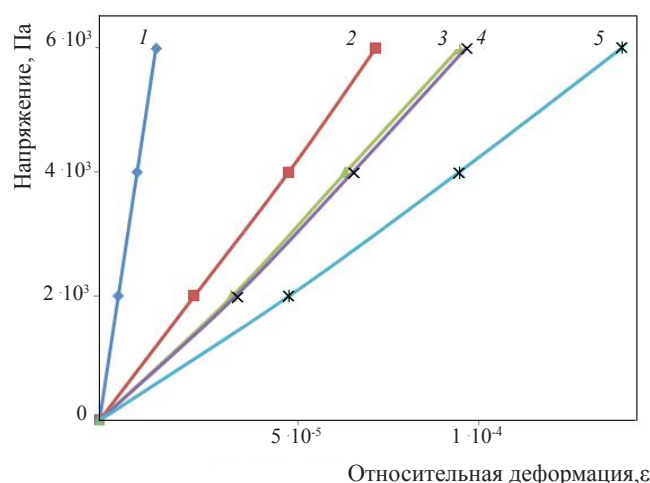


Рис. 3. График зависимости деформации льяных бисквитов от нагрузки

Рис. 4. Диаграмма сжатия бисквита:
1 — сорт «Норлин»; 2 — Контроль; 3 — «ЛМ 97»;
4 — «Белоснежка»; 5 — «ЛМ 98»

упругой и пластичной деформации близкие к контролю имел бисквит из льяной муки сорта «ЛМ 97» (1,49 мм и 2,8 мм соответственно). Бисквит из муки сорта «Белоснежка», по сравнению с контрольным образцом, имел более упругую деформацию, но значение пластичной деформации было меньше, чем у контрольного (1,53 мм и 1,38 мм соответственно).

При малых деформациях (обычно существенно меньших 1%) связь между напряжением σ и относительной деформации ϵ оказывается линейной. При снятии напряжения деформация исчезает. Такая деформация как раз и называется упругой. Максимальное значение $\sigma = \sigma_{\text{пр}}$, при котором сохраняется линейная связь между σ и ϵ , называется пределом пропорциональности. Воспользовавшись законом Гука, получаем следующие

Таблица 5

Значение коэффициентов упругости льяных бисквитов

Коэффициент упругости	Сорт	Значение
K_1	«Белоснежка»	$8,42 \cdot 10^7$
K_2	Контроль	$9,58 \cdot 10^7$
K_3	«ЛМ 97»	$8,64 \cdot 10^7$
K_4	«Норлин»	$4,84 \cdot 10^8$
K_5	«ЛМ 98»	$4,40 \cdot 10^7$

зависимости при упругой деформации для изделий, выпеченных из льяной муки:

$$y_1(x) = K_1 x \text{ — сорт «Белоснежка»};$$

$$y_2(x) = K_2 x \text{ — Контроль};$$

$$y_3(x) = K_3 x \text{ — «ЛМ 97»};$$

$$y_4(x) = K_4 x \text{ — «Норлин»};$$

$$y_5(x) = K_5 x \text{ — «ЛМ 98»}.$$

При деформации тела зависимость механического напряжения от относительной деформации имеет сложный вид, изображаемый в виде диаграммы сжатия (рис. 4).

Значения коэффициентов упругости приведены в табл. 5.

Из диаграммы (рис. 4) видно, что при большом напряжении самая маленькая деформация возникает у бисквита, выпеченного из льяной муки сорта «Норлин», самая большая деформация у бисквита «ЛМ 98».

Деформация бисквитов из льяной муки сорта «ЛМ 97» и «Белоснежка» почти одинаковая и очень близка к контрольному. Разница в деформациях у льяных бисквитов между собой обусловлено тем, что в льяной муке содержатся полисахариды, которые в свою очередь имеют разный состав и разную водопоглотительную способность, тем самым обеспечивают условия для удержания влаги и сохранения структуры изделия.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Установлено, что бисквитное тесто из полножирной льяной муки по сравнению с классическим тестом из пшеничной муки более вязкое за счет специфики полисахаридного комплекса.

2. Установлено, что вязкость льяного теста зависит от соотношения нейтральных и кислых фракций полисахаридного комплекса.

3. Установлена прямая связь между вязкостью теста и упругостью готового изделия. Причем чем больше вязкость теста, тем меньше пластическая деформация у готового изделия.

4. По структурно-механическим свойствам бисквит из семян льна сорта «Белоснежка» соответствует контрольному образцу. Это говорит о предпочтительном использовании семян льна в производстве бисквитов специализированного назначения.

Список литературы

1. Горбатов А. В. Реология мясных и молочных продуктов. — М.: Пищевая промышленность, 1979. 384 с.
2. Киреева М. С., Маркина В. Ю., Меркулова М. И., Эгги Э. Э. Пороховина Е. А., Красильников В. Н. Перспективное использование семени льна в специализированном питании // Материалы международного научно-практического семинара «Роль льна в улучшении среды обитания и активном долголетии человека». — Тверь, 2012. с. 181–185.
3. Алексеев Г. В., Остриков А. Н. Процессы и аппараты пищевых производств. Учебник. — СПб.: ГИОРД, 2007. 706 с.
4. Алексеев Г. В., Красильников В. Н. Возможности применения мембранных процессов для производства продуктов питания функционального назначения. // Вестник Международной академии холода. 2010. №3. с. 32–37.
5. Mazza G. Functional Foods: Biochemical and Processing Aspects. 1998. By Technomic Publishing Company, Inc.
6. Warrand J., Michaud P., Picton L. at all. Structural investigations of the neutral polysaccharide of Linum usitatissimum L. seed mucilage // Int. J. Biol. Macromol. 2005b. 35: 121–125.
7. Андреев А. А., Алексеев Г. В. Гидромеханические процессы при раскатке теста // Хлебопродукты. 2011. №4. С. 62–64.

8. Алексеев Г. В., Андреев А. Н. Формирование целевой функции оценки качества раскатки слоеного теста // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2011. №1. С. 29–37.

9. Алексеев Г. В., Гришанова (Даниленко) Е. А., Кондратов А. В., Гончаров М. В. Возможности реализации эффектов кавитации для измельчения пищевого сырья. // Вестник Международной академии холода. 2012. №3.

References

1. Gorbatov A. V. Reologija mjasnyh i molochnyh produktov. — M.: Pishhevaja promyshlennost', 1979. 384 p.
2. Kireeva M. S., Markina V. Ju., Merkulova M. I., Jeggi Je. Je. Porohovina E. A., Krasil'nikov V. N. Perspektivnoe ispol'zovanie semeni l'na v specializirovannom pitanii // Materialy mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminaru «Rol' l'na v uluchshenii sredy obitaniya i aktivnom dolgoletii cheloveka». — Tver', 2012. p. 181–185.
3. Alekseev G. V., Ostrikov A. N. Processy i apparaty pishhevyh proizvodstv. Uchebnik. — SPb.: GIORД, 2007. 706 p.
4. Alekseev G. V., Krasil'nikov V. N. Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda. 2010. No 3. p. 32–37.
5. Mazza G. Functional Foods: Biochemical and Processing Aspects. 1998. By Technomic Publishing Company, Inc.
6. Warrand J., Michaud P., Picton L. at all. Structural investigations of the neutral polysaccharide of Linum usitatissimum L. seed mucilage. Int. J. Biol. Macromol. 2005b. 35: pp. 121–125.
7. Andreev A. A., Alekseev G. V. Hleboprodukty. 2011. No 4. p. 62–64.
8. Alekseev G. V., Andreev A. N. Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Processy i apparaty pishhevyh proizvodstv». 2011. No 1. p. 29–37.
9. Alekseev G. V., Grishanova (Danilenko) E. A., Kondratov A. V., Goncharov M. V. Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda. 2012. No 3.

Авторам и читателям журнала!

С 2014 года действует официальный сайт журнала
«Вестник Международной академии холода»



www.vestnikmax.com

