

Влияние льняной муки на реологические свойства теста из смеси пшеничной и льняной муки и качество хлеба

С. И. Конева¹, Е. Ю. Егорова^{1,*}, Л. А. Козубаева¹, И. Ю. Резниченко²

¹ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», 656038, Россия, г. Барнаул, ул. Ленина, 46

² ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650056, Россия, г. Кемерово, ул. Красная 6

Дата поступления в редакцию: 10.01.2018
Дата принятия в печать: 21.03.2019

*e-mail: egorovaeyu@mail.ru



© С. И. Конева, Е. Ю. Егорова, Л. А. Козубаева, И. Ю. Резниченко, 2019

Аннотация. Семена льна являются источником ряда ценных компонентов и используются для направленного моделирования пищевой ценности хлебобулочных изделий. Основным объектом исследования выступали мучные смеси, полученные путем смешивания муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и льняной муки в процентном соотношении 92,5:7,5; 90,0:10,0 и 87,5:12,5. Реологические свойства теста исследовали на приборе Mixolab (Chopin Technologies, Франция) в Алтайском государственном техническом университете им. И. И. Ползунова (Барнаул, Россия). По данным миксолабограмм и радиальных диаграмм установлены различия в реологическом профиле мучных смесей. С увеличением доли льняной муки время замеса закономерно повышается (с 5,58 до 5,77 мин) и увеличивается время стабильного состояния теста (с 9,25 до 9,67 мин). Изучение реологических свойств теста показало прямую зависимость водопоглотительной способности мучных смесей от дозировки льняной муки (рост с 69,4 до 72,9 %). Индексы «Вязкость», «Амилолитическая активность» и «Ретроградация крахмала» находятся в обратной зависимости. С повышением дозировки льняной муки возрастают влажность теста (с 47,0 до 50,0 %) и начальная кислотность теста (от 2,5 до 3,5 град), что является причиной изменения скорости нарастания кислотности теста в процессе брожения. Это способствует более быстрому созреванию теста и сокращению общей продолжительности его брожения (с 90 до 60 мин). Полученные результаты позволяют охарактеризовать мучные смеси с добавлением льняной муки, как «средние по силе» (филлер), дающие хлеб с пониженным объемом. По результатам исследований авторами предложены оптимальная дозировка льняной муки (7,5–10,0 %) и режимы технологического процесса, позволяющие получить хлеб с хорошими потребительскими свойствами.

Ключевые слова. Хлеб, мука из семян льна (льняная мука), мучные смеси, тесто, биохимические свойства мучных смесей, реологические свойства теста, качество хлеба

Для цитирования: Влияние льняной муки на реологические свойства теста из смеси пшеничной и льняной муки и качество хлеба / С. И. Конева, Е. Ю. Егорова, Л. А. Козубаева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 1. – С. 85–96.
DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-85-96>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/>

The Effect of Flaxseed Flour on the Rheological Properties of Dough Made of Flaxseed and Wheat Flour and Bread Quality

S.I. Koneva¹, E.Yu. Egorova^{1,*}, L.A. Kozubaeva¹, I.Yu. Reznichenko²

¹ Polzunov Altai State Technical University, 46, Lenina Str., Barnaul, 656038, Russia

² Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650056, Russia

Received: January 10, 2018
Accepted: March 21, 2019

*e-mail: egorovaeyu@mail.ru



© S.I. Koneva, E.Yu. Egorova, L.A. Kozubaeva, I.Yu. Reznichenko, 2019

Abstract. Flax seeds are a valuable source of several active components and can be used for controlled modeling of bakery food value. The study featured flour mixes of first grade wheat flour and flaxseed flour (flax meal) in the ratio 92.5%:7.5%; 90.0%:10.0%, and 87.5%:12.5%. The rheological properties of the dough were studied using the Mixolab (Chopin Technologies, France). The laboratory was located at the Polzunov Altai State Technical University (Barnaul, Russia). The mixolabogram and radial diagram

were used to define the differences in the parameters of the rheological profile of the 4 flour samples. With the increase of flaxseed flour in the composition, the mixing time increased from 5.58 to 5.77 minutes, and the stable state of the dough became longer: from 9.25 to 9.67 minutes. The water absorption capacity of flour mixes directly depended on the dosage of flax flour and increased from 69.4 to 72.9%. However, viscosity, amylolytic activity, and retrogradation revealed inversed dependence on the dosage of flax flour. The moisture content of the dough increased from 47.0 to 50.0% and the initial acidity of the dough increased from 2.5 to 3.5 degree with the increasing dosage of flax flour, which changed the dynamics of acidification during fermentation. This resulted in a more rapid maturation of dough and reduced the total fermentation period from 90 to 60 minutes. Thus, the flax flour mixes can be characterized as “fillers” that produce bread of reduced volume. The authors state the optimal dosage of flax flour as 7.5–10.0% and propose various modes of the technological process for obtaining bread with good consumer properties.

Keywords. Bread, flaxseed flour (flax meal), flour mixes, dough, biochemical properties of flour mixes, rheological properties of dough, bread quality

For citation: Koneva SI, Egorova EYu, Kozubaeva LA, Reznichenko IYu. The Effect of Flaxseed Flour on the Rheological Properties of Dough Made of Flaxseed and Wheat Flour and Bread Quality. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(1):85–96. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-85-96>.

Введение

Семена льна (*Linum usitatissimum L.*) рассматриваются современной диетологией не только как источник пищевого масла, богатого α -линоленовой кислотой [1, 2], но и в качестве дополнительного источника пищевого белка [1, 3], растворимых и нерастворимых пищевых волокон [4, 5], лигнанов [6, 7]. Именно со свойствами перечисленных компонентов льняных семян и продуктов их переработки следует связывать растущую популярность их включения в состав пищевых продуктов и активность исследований в качестве пищевого сырья, имеющего выраженные диетические свойства. Установлено, что пептиды белков льняных семян обладают антиоксидантными свойствами [8]. Растворимые пищевые волокна способствуют снижению уровня глюкозы и холестерина, в том числе при включении в рацион больных сахарным диабетом [9–11]. Лигнаны участвуют в регуляции веса, липидного профиля и артериального давления [6, 7, 12].

Некоторое непостоянство состава льняного масла обусловлено различием между ботаническими разновидностями [13] – кудряш (*V. brevimulticaulia*), межеумок (*V. intermedia*) или долгунец (*F. elengata*) – и сортовыми типами этого растения [14]. Масло любого вида и сорта типа обладает диетическими свойствами, к которым относят влияние на функциональную активность мембран эритроцитов [15], гепатотропный эффект [16], противоопухолевый эффект [17] и, прежде всего, возможность направленной регуляции липидного спектра сыворотки крови [18] и связанное с этим кардиопротекторное действие [19]. Диетические свойства масла объясняются высоким содержанием α -линоленовой кислоты, но определенное значение уделяется и наличию в льняном масле естественных антиоксидантов – жирорастворимых витаминов и селена [2, 20].

Наряду с перечисленными положительными эффектами льняного масла, есть достоверные клинические данные о том, что этот продукт не целесообразно рассматривать в качестве самостоятельного активного препарата жирных кислот омега-3 [21]. Обогащение рациона α -линоленовой кислотой льняного масла может приводить к снижению обеспеченности организма витамином E и ухудшению общего витаминного статуса [22].

Неоднозначность клинических данных о диетических свойствах льняного масла послужила причиной появления нового направления научных исследований. Основной целью нового направления является изменение тромбогенных и атерогенных характеристик жиров животных и птицы через модификацию их рациона включением того же льняного масла или льняных семян [23–25]. Не сдает своих позиций и традиционное направление, нацеленное на модификацию ежедневного рациона питания включением семян льна или льняного масла непосредственно в состав потребляемых продуктов питания человека. Одной из наиболее популярных тем является введение продуктов переработки льняных семян в состав мучных продуктов, в основном – хлеба [4, 7, 11, 26–28].

Как в России, так и за рубежом, хлеб относят к продуктам, пользующимся стабильным спросом у населения. Это позволяет рассматривать его в качестве удобного объекта для корректировки пищевой ценности и профилактической эффективности повседневного рациона. Одним из наиболее хорошо изученных способов корректировки пищевой ценности хлебобулочных изделий считается их обогащение растительными пищевыми волокнами в виде отрубей либо в виде цельнозерновой муки [29]. Этому критерию полностью отвечают пищевые волокна семян льна и «льняной муки» [30, 31]. Льняное масло семян льна и «льняной муки» может рассматриваться в качестве обогащающего компонента и одновременно пластификатора, т. к. жиры в технологии хлеба играют важную технологическую роль, обеспечивающую необходимую консистенцию теста, эластичность мякиша, снижение скорости черствения и повышение пищевой ценности выпеченных изделий [32].

Вместе с тем, как показано в ряде экспериментальных исследований, введение измельченных семян льна в состав теста в физиологически значимых дозировках может приводить к существенно ухудшению вкуса и аромата продукта: выпечки [33], снежков [34] или кондитерских изделий [35]. Это вызвано высокой скоростью окисления льняного масла [36] и определяет необходимость «вуалирования» проявившихся негативных эффектов в ор-

ганолептических свойствах мучных изделий со льном. Одной из технологических «находок» в этом плане стала возможность нанокапсулирования льняного масла перед введением в состав мучных изделий [37], в том числе с использованием в качестве материала для получения капсул белок-полисахаридной смеси [38].

Статистика публикаций, посвященных теоретическим и экспериментальным исследованиям введения продуктов переработки семян льна в состав хлебобулочных изделий, свидетельствует о росте научного и практического интереса к рассматриваемой теме. В научной литературе достаточно ссылок на то, что включение льняной муки (как и других видов муки, богатых пищевыми волокнами) в состав мучных смесей оказывает влияние на технологические свойства муки и процесс тестообразования. Однако в имеющихся публикациях не достаточно данных, позволяющих получить однозначное представление о влиянии льняной муки на реологические и, соответственно, технологические свойства теста.

Поскольку реологические особенности теста как упруго-вязко-пластичного тела определяют технологические свойства полуфабрикатов и качество готовых мучных изделий, целью данной работы являлось исследование влияния дозировки льняной муки на реологические свойства теста и качество хлеба.

Решаемые задачи:

- систематизация литературных данных для выявления сущности и механизмов биохимических и коллоидных процессов, протекающих в тесте из смеси пшеничной и льняной муки;
- исследование биохимических свойств мучных смесей и основных реологических характеристик теста, полученного на основе мучных смесей с выбранным соотношением пшеничной и льняной муки;
- выявление общих закономерностей влияния дозировки льняной муки на процессы, характеризующие скорость образования и созревания теста и ретроградацию крахмала;
- обоснование режимов тестоприготовления на основе полученных биохимических свойств мучных смесей и реологических характеристик теста;
- лабораторная выпечка и оценка качества хлеба для определения оптимальной дозировки льняной муки для производства массовых сортов хлеба.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследований использованы:

- 1) полуобезжиренная льняная мука (рис. 1) – мука из жмыха семян масличного льна (*Linum usitatissimum* L., сем. *Linaceae*), полученная производителем путём однократного холодного отжима семян масличного льна с последующим измельчением жмыха в муку с дисперсностью менее 0,5 мм и фасовкой в потребительскую упаковку из комбинированных материалов (полиэтилен/фольга; картонная коробка). Обладает характерным ароматом и привкусом семян льна, светло-коричневого цвета. Пищевая ценность 100 г льняной муки, согласно

но маркировке производителя: белки – 36 г, жиры – 10 г, углеводы – 9 г; энергетическая ценность – 270 ккал. Фактические значения компонентов химического состава льняной муки, определенные с использованием стандартных методов исследований масличного сырья: белки – $34,6 \pm 0,1$ %, жиры – $11,5 \pm 0,2$ %, углеводы (сумма усвояемых и пищевых волокон) – $43,7 \pm 0,5$ %. Заявленный производителем срок годности – 12 месяцев при температуре не более 25 °С и относительной влажности воздуха не более 75 %;

2) мучные смеси, полученные путем смешивания до однородного состояния муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и льняной муки в процентном соотношении 92,5:7,5; 90,0:10,0 и 87,5:12,5;

3) мука пшеничная хлебопекарная первого сорта, используемая в качестве контрольного объекта исследований при изучении качества мучных смесей, на этапе определения реологических свойств теста и на этапе определения показателей качества хлеба;

4) хлеб из теста, полученного из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и мучных смесей, приготовленных по п. 2.

При обобщении литературных данных использовались методы сравнительного анализа и систематизации информации из научных изданий и периодической печати.

Результаты экспериментальных исследований мучных смесей и хлеба получены с использованием стандартных органолептических и инструментальных методов исследований, принятых в зерноперерабатывающей и хлебопекарной отрасли.

Сахарообразующую способность мучных смесей определяли по методу Рамзей-ВНИИЗ, заключающемуся в определении количества миллиграммов мальтозы, образующейся за 1 час настаивания водно-мучной суспензии из $10,0 \pm 0,1$ г мучной смеси и 50 см³ воды при температуре 27 °С.

Кислотность мучных смесей определяли по методике ГОСТ 27493–87, кислотность мякиша хлеба – по методике ГОСТ 5670–96 титрованием пробы 0,1 М раствором гидроксида натрия всех кислореагирующих веществ, переходящих в водно-мучную суспензию, полученную на основе навески мучной смеси или измельченного мякиша определенной массы.

Внешний вид хлеба, состояние мякиша, вкус и запах определяли органолептическими методами.

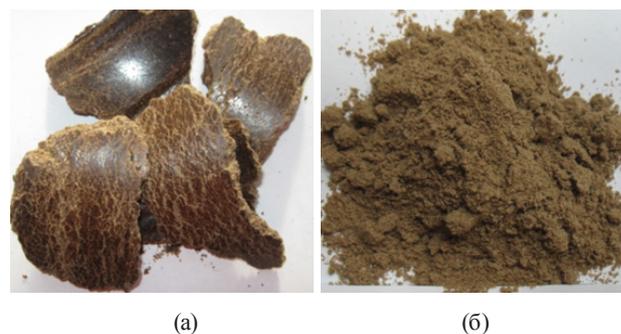


Рисунок 1 – Фото льняного жмыха (а) и льняной муки (б)

Figure 1 – Photos of linseed cake (a) and flax flour (b)

Влажность мякиша хлеба определяли по методике ГОСТ 21094–75 высушиванием проб мякиша массой 5 г до при температуре 130 ± 2 °С в течение 45 минут с последующим взвешиванием и расчётом значения показателя в %.

Пористость мякиша хлеба определяли по методике ГОСТ 5669–96, с использованием прибора Журавлева, путем получения цилиндрических выемок мякиша определенного объема с их последующим взвешиванием и расчетом значения показателя в %.

Удельный объем хлеба определяли как отношение установленного по ГОСТ 27669–88 объема изделия к его массе ($\text{см}^3/\text{г}$). Формоустойчивость определяли по ГОСТ 27669–88, рассчитывая как отношение высоты подового хлеба к его диаметру (H/D).

Все исследования проводились в трёхкратной повторности для каждого показателя. Результаты исследований обрабатывали методом статистического анализа.

Реологические показатели теста экспериментальных составов исследовали по методике ISO 17718:2013 [39] с использованием прибора Mixolab (Chopin Technologies, Франция) в соответствии с техническим описанием к прибору в протоколе «Chopin+». Оценка реологических свойств на приборе Mixolab предполагает анализ водопоглотительной способности мучных смесей, времени образования теста и стабильности теста с выделением пяти температурных интервалов исследования, имитирующих технологические условия приготовления теста и выпечки хлеба. В нескольких анализируемых точках экспериментальных кривых миксолабограммы прибор определяет крутящие моменты, характеризующие протекающие в тесте биохимические и коллоидные процессы.

В первой фазе (характеризующей устойчивость к замесу, точка C1), продолжительность которой составляет 8 минут, прибор обеспечивает замес теста при температуре 30 °С до консистенции $1,1 + 0,05 \text{ Н} \times \text{м}$. Во 2 и 3 фазах замеса (точка C2 – «Глютен+»), который характеризует разжижение теста; точка C3 – вяз-

кость, которая отражает консистенцию теста в процессе клейстеризации крахмала) регистрируется изменение консистенции теста при его нагреве до 90 °С. В 4 и 5 фазах консистенция теста измеряется в процессе охлаждения до 50 °С и последующего выдерживания при данной температуре в течение 5 минут (что соответствует точке C4, характеризующей активность амилолитических ферментов теста, и точке C5 – ретроградации крахмала).

Результаты и их обсуждение

Предварительные исследования рецептур хлеба с льняной мукой (от 7,5 % до 12,5 % от общего количества муки в рецептурной смеси) показали, что добавление льняной муки оказывает значительное влияние на хлебопекарные свойства смесей пшеничной и льняной муки и технологические свойства теста в процессе брожения [30].

Приготовление теста начинается с замеса (фаза I – «Образование теста») и сопровождается сложным комплексом биохимических, микробиологических и физико-химических процессов, влияющих на его реологические свойства. При этом протекают процессы гидратации нерастворимых в воде белков и полисахаридов, процессы растворения глобулинов, альбуминов и растворимых углеводов с их переходом в жидкую фазу теста.

Данные миксолабограмм (рис. 2, 3) и радиальных диаграмм (рис. 4) демонстрируют наличие достаточно выраженных различий в параметрах реологического профиля оцениваемых прибором индексов как между образцами теста из одной пшеничной муки и теста из мучных смесей, так и между образцами теста, полученного из мучных смесей с различающейся дозировкой льняной муки. Эти данные свидетельствуют о разной скорости выше обозначенных процессов, а также различиях в механизмах формирования теста.

Полученные миксолабограммы можно интерпретировать следующим образом.

Первым признаком, непосредственно зависящим от введения в состав мучной смеси льняной муки, является водопоглотительная способность (ВПС, %). Как известно, ВПС зависит от крупности помола и

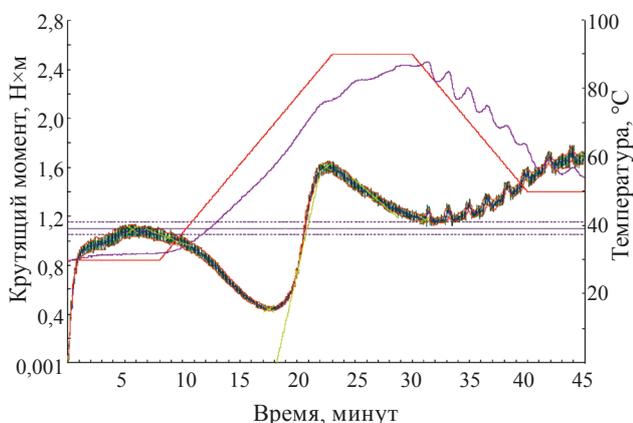


Рисунок 2 – Миксолабограмма теста из смеси муки пшеничной первого сорта и 10,0 % льняной муки

Figure 2 – Mixolabogram of dough made of first grade wheat flour and 10.0% flax flour

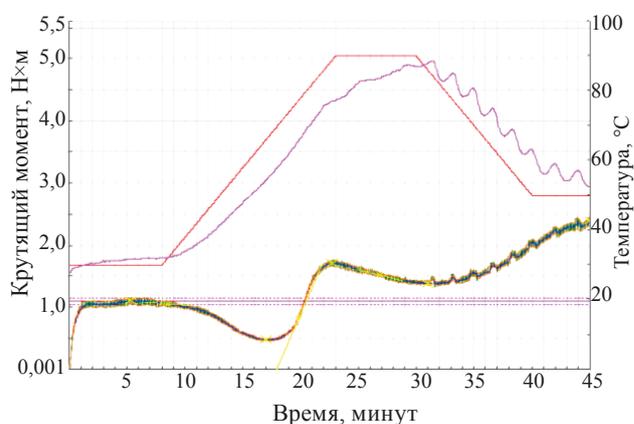


Рисунок 3 – Миксолабограмма теста из пшеничной муки

Figure 3 – Mixolabogram of wheat flour dough

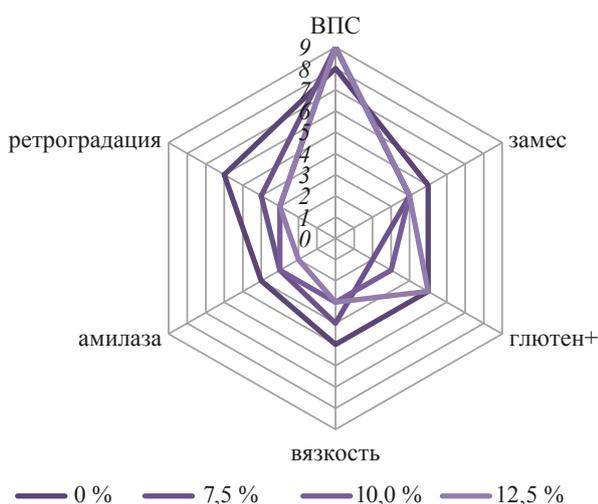


Рисунок 4 – Радиальная диаграмма прибора Mixolab для теста из смеси пшеничной муки с различным добавлением льняной муки (баллы)

Figure 4 – Radial Mixolab diagram for dough made of wheat flour and various doses of flax flour (points)

биохимических свойств муки: более крупные частицы обладают свойством «дополнительного набухания». Это свойство непосредственно связано с содержанием в муке биополимеров – белков и некрахмальных полисахаридов.

Одно из принципиально важных технологических отличий муки из семян льна от муки из зерна злаковых и бобовых культур заключается в том, что часть углеводов льняной муки представлена нерастворимыми в воде высокомолекулярными полисахаридами (клетчаткой, гемицеллюлозами). Другая часть (по разным оценкам, от 2,0 до 6,5 % от массы семян) представлена их низкомолекулярными фрагментами, растворимыми в воде, – пентозанами. Доля крахмала в составе углеводов семян льна, по сравнению с мукой из семян злаковых культур, очень незначительна (5,0–7,0 % от состава семян). Характерной особенностью пентозанов является способность легко пептизироваться в воде с образованием вязких гелей – слизей.

Мука, получаемая из льняного жмыха, отличается еще более высоким содержанием оболочечных частиц и, соответственно, входящих в их состав

некрахмальных полисахаридов и гидроколлоидов, способных не только хорошо впитывать влагу, но и какое-то время её удерживать.

Выше сказанное определяет повышение ВПС мучных смесей (с 69,4 % до 72,9 % при увеличении доли льняной муки в составе мучных смесей от 7,5 до 12,5 %), а впоследствии – замедление скорости черствения выпеченных хлебобулочных и мучных кондитерских изделий.

Увеличение ВПС при повышении доли льняной муки в мучных смесях сопровождается закономерным увеличением времени образования теста (с 5,58 до 5,77 мин в вариантах с льняной мукой, табл. 1). Большая продолжительность образования теста соответствует более высокой дозировке льняной муки в мучной смеси, очевидно, требующей более длительное время на полную гидратацию гидроколлоидов. Следовательно, с увеличением ВПС мучных смесей можно прогнозировать повышение выхода хлеба при введении в состав мучных смесей льняной муки.

Увеличение времени замеса теста должно обеспечить более продолжительное набухание клейковинных белков, присутствующих в составе мучной смеси. Это должно вызывать снижение упругости клейковины и снижение вязкости теста.

Стабильность теста при включении в мучную смесь льняной муки смещалась с 10,35 мин (для теста из пшеничной муки) до 9,25–9,67 мин по вариантам введения в мучную смесь льняной муки. Значение индекса «Замес» – 4 балла для образцов с добавлением льняной муки (рис. 4) – также является свидетельством стабильности образцов теста с льняной мукой. Это же значение позволяет охарактеризовать мучные смеси с льняной мукой как средние по силе, использование которых в условиях промышленного производства даст хлеб с пониженным объемом.

Индекс «Глютен+» – комплексная характеристика, характеризующая качество белковых веществ в анализируемых пробах и отражающая устойчивость структуры белковых молекул при нагревании теста в температурном интервале 30–60 °С в течение II фазы, во время которой происходит разжижение теста. Считается, что основную роль в индексации этой характеристики играют проламиновая и глютелиновая фракции белков. Они формируют при замесе клейковинный каркас пшеничного теста:

Таблица 1 – Основные параметры: протокол Chopin+

Table 1 – Key parameters: Chopin+ protocol

Наименование и обозначение показателя	Содержание льняной муки в мучной смеси			
	0 %	7,5 %	10,0 %	12,5 %
Водопоглотительная способность (ВПС), %	62,2	69,4	71,0	72,9
Время образования теста, мин	5,27	5,58	5,65	5,77
Стабильность теста, мин	10,35	9,25	9,45	9,67
Индекс «Замес» (C1)	1,11	1,11	1,10	1,10
Индекс «Глютен+» (C2)	0,48	0,44	0,44	0,48
Индекс «Вязкость» (C3)	1,71	1,61	1,60	1,62
Индекс «Амилитическая активность» (C4)	1,38	1,20	1,17	1,16
Индекс «Ретроградация крахмала» (C5)	2,39	1,78	1,69	1,68

при гидратации белков глютенины дают упругость и жесткость, а проламины обеспечивают растяжимость клейковины и теста. Отмечаемое при нагреве до 30–60 °С снижение вязкости теста следует объяснить началом денатурации белков, высвобождающих поглощенную во время замеса воду.

По данным ВНИИЗ, для пшеничной муки четкой корреляции между индексом «Глютен+» и качеством клейковины не выявлено [40]. В случае анализа мучных смесей с добавлением льняной муки интерпретация этого индекса также неоднозначна. Об этом можно говорить уже на основании сопоставления числовых значений индекса по вариантам мучных смесей (табл. 1).

Белки льняной муки, несмотря на присутствие в них определенной доли проламиновой и глютениновой фракций (порядка 3–4 % от суммы белковых веществ), не способны к самостоятельному формированию губчатого клейковинного каркаса, характерного для теста из сортовой пшеничной муки. Более того, в состав льняной муки входит значительное количество слизей, обволакивающих белки и препятствующих образованию нормальной губчато-эластичной структуры теста. Именно поэтому при введении в мучную смесь льняной муки тесто отличается от чисто пшеничного повышенной вязкостью и липкостью. Повышение вязкости и липкости теста способно повлечь ухудшение качества разделки теста, снижение скорости и качества формования тестовых заготовок, повышение их прилипания к формам при выпечке.

Наиболее высоким значением индекса «Глютен+» отличался образец мучной смеси с добавлением 12,5 % льняной муки. Наиболее низким значением – образец с добавлением 7,5 % льняной муки (2 балла), что указывает на более существенное разжижение консистенции теста из этих смесей.

При выдерживании теста в температурном интервале от 30 °С до 60 °С протекают важные для тестообразования процессы: крахмальные гранулы набухают (хотя при такой температуре структура крахмальных гранул еще не меняется), а действие амилазы сводится к минимальному. Однако ведущей причиной изменения консистенции теста при его замесе и образовании является реорганизация структуры клейковинных белков. В первую очередь сказанное относится к изменениям структуры белков, вызванным разрывами водородных связей. Как следствие, реологические свойства теста и качество готового хлеба определяются составом и соотношением в составе мучной смеси различающихся по растворимости и молекулярной массе фракций клейковинных белков пшеничной муки – глютенина и глиадина, обуславливающих упругие свойства и растяжимость клейковины.

Наряду с клейковинными белками, в формировании клейковинного каркаса теста на стадии замеса прямо или косвенно участвуют и другие соединения, находящиеся в непосредственном физико-химическом взаимодействии с белками клейковины: липиды, углеводы (в нашем случае, прежде всего,

пентозаны и образованные ими слизи), ферменты (амилазы пшеничной муки и липоксигеназы льняной муки) [26]. Следовательно, использование в составе мучных смесей льняной муки, содержащей значительное количество липидов и ингибиторов протеолиза, при определенной дозировке может способствовать укреплению глютеиновой фракции клейковины и повышению вязкости теста, что подтверждается возрастанием индекса «Глютен+» по сравнению с пшеничной мукой без добавок.

В III фазе («Клейстеризация крахмала»), характеризующей свойства крахмала и амилолитическую активность муки, температура теста повышается с 60 °С до 90 °С. Во время III фазы в тесте идет разрушение крахмальных гранул, начинается клейстеризация крахмала. Роль протеинов уходит на второй план. Вязкость теста увеличивается.

Наибольшее значение индекса «Вязкость» при сопоставлении между собой смесей с разной дозировкой льняной муки установлено для образца теста с добавлением 7,5 % льняной муки – 4 балла. С увеличением дозировки льняной муки до 10,0 % и 12,5 % значение индекса снижается, что хорошо согласуется с увеличением продолжительности замеса теста.

В льняной муке отсутствуют амилазы, но содержится значительное количество липолитических ферментов. Соответственно, с увеличением дозировки льняной муки в мучной смеси наблюдается «эффект разбавления». Кроме того, что в мучной смеси уменьшается доля клейковинных белков, снижается и содержание амилолитических ферментов. Это вызывает закономерное снижение стабильности крахмального клейстера, зафиксированное в фазе IV. Липолитическая активность, напротив, возрастает. Это сопровождается появлением в тесте свободных жирных кислот и гидроперекисидов.

Следует отметить, что между индексами вязкости и активности амилаз не выявлено четкой корреляции. Вероятно (и это предположение хорошо согласуется со значениями индекса «Замес»), вязкость исследуемых образцов теста в значительной степени зависит от присутствия в льняной муке растворимых белков и периферийных частиц льняных семян, содержащих обладающие высокой гидрофильностью некрахмальные полисахариды.

«Ретроградация крахмала» – индекс, характеризующий углеводно-амилазный комплекс муки и зависящий от соотношения в молекулах крахмала амилозы и амилопектина. Этот показатель взаимосвязан со свойством мучных изделий противостоять черствению и сохранять свежесть. В проведенной серии исследований реологических свойств теста из смесей пшеничной и льняной муки значение этого показателя снижается коррелятивно уменьшению доли пшеничной муки в смеси.

Исследование реологических характеристик теста из мучных смесей экспериментальных составов показывает, что с увеличением в мучных смесях доли льняной муки время замеса закономерно повышается (до достижения стабильности). При этом время, соответствующее стабильному состоянию теста,

Таблица 2 – Биохимические свойства смесей льняной и пшеничной муки

Table 2 – Biochemical properties of flax and wheat flour mixes

Наименование показателя	Значение показателя / Содержание льняной муки в мучной смеси			
	0 %	7,5 %	10,0 %	12,5 %
Сахарообразующая способность, мг мальтозы на 10 г муки (смеси)	195 ± 2	147 ± 2	114 ± 2	86 ± 3
Кислотность, град	2,1 ± 0,1	3,7 ± 0,1	4,3 ± 0,1	4,8 ± 0,1

возрастает незначительно. Это согласуется с опубликованными ранее данными, что добавление льняной муки вызывает изменение свойств теста [30], а использование льняной муки в производстве массовых сортов хлеба может привести к необходимости подбора специальных технологических режимов приготовления теста, расстойки и выпечки хлеба.

Следующим этапом исследований явилась разработка технологии хлеба на основе мучных смесей исследуемого состава. Для выбора режимов тестоприготовления дополнительно определяли биохимические свойства мучных смесей: сахарообразующую способность и кислотность (табл. 2).

В качестве базовой рецептуры использована унифицированная рецептура хлеба из муки пшеничной первого сорта. Тесто готовили безопасным способом.

Таблица 3 – Технологические режимы приготовления теста из смесей пшеничной и льняной муки

Table 3 – Technological modes of dough preparation from wheat and flax flours

Наименование показателя процесса	Значение показателя / Содержание льняной муки в мучной смеси			
	0 %	7,5 %	10,0 %	12,5 %
Температура теста, °С	28–30	28–30	28–30	28–30
Влажность теста, %	45,0	47,0	48,0	50,0
Кислотность начальная, град	2,0	2,5	3,0	3,5
Продолжительность брожения, минут	150	90	60	60
Кислотность конечная, град	3,0	3,5	4,0	4,5

При выборе режимов тестоприготовления (табл. 3) основывались на результатах исследования биохимических и реологических свойств мучных смесей с добавлением льняной муки.

Установленное на этапе исследования реологических свойств теста возрастание ВПС мучных смесей с повышением дозировки льняной муки стало основной причиной увеличения объема воды, вносимой на стадии замеса для получения теста с нормальной консистенцией. Однако повышенная влажность теста может привести к повышенной вязкости и липкости теста, отрицательно повлиять на процессы

Таблица 4 – Показатели качества хлеба из пшеничной муки и мучных смесей

Table 4 – Quality indicators of bread made of wheat flour and flour mixes

Наименование показателя	Значение показателя / Содержание льняной муки в мучной смеси			
	0 %	7,5 %	10,0 %	12,5 %
Органолептические показатели:				
Форма	Правильная, с выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов			
Поверхность корки	Ровная, гладкая			Слегка шероховатая
Цвет корки	Золотисто-коричневая	Светло-коричневая		Коричневая
Состояние мякиша:				
Попеченность	Пропеченный, не влажный на ощупь, эластичный			Пропеченный, не влажный на ощупь, малоэластичный
Пористость	Развитая, без пустот и уплотнений, средняя, равномерная, тонкостенная			Развитая, без пустот и уплотнений, средняя, равномерная, толстостенная
Комкуемость при разжевывании	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Незначительная, ощущаются частицы оболочек семян льна
Крошковатость	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Цвет мякиша	Белый с желтоватым оттенком	Сероватый, с вкраплениями частиц оболочек семян льна	Серый, с вкраплениями частиц оболочек семян льна	Серовато-коричневый, с вкраплениями частиц оболочек семян льна
Запах и вкус	Свойственные пшеничному хлебу	Свойственные пшеничному хлебу, с характерными приятными запахом и привкусом льняной муки		С ярко выраженным запахом и привкусом льняной муки
Физико-химические показатели:				
Влажность, %	44,0 ± 0,2	45,0 ± 0,2	47,5 ± 0,3	49,0 ± 0,2
Кислотность мякиша, град	2,5 ± 0,1	3,0 ± 0,1	3,5 ± 0,1	4,0 ± 0,2
Пористость, %	74 ± 3	69 ± 2	65 ± 2	60 ± 2
Удельный объем, см ³ /г	3,5 ± 0,2	3,0 ± 0,2	2,9 ± 0,1	2,3 ± 0,1
Формоустойчивость, Н/D	0,51 ± 0,04	0,48 ± 0,03	0,46 ± 0,04	0,43 ± 0,03

деления и округления тестовых заготовок. Далее (при расстойке) возможна плохая формоустойчивость изделий. Выпеченный хлеб может иметь низкий удельный объем и уплотненный мякиш.

Начальная кислотность теста с повышением дозировки льняной муки также возрастает, вызывая изменение динамики нарастания кислотности в процессе брожения. Это способствует более быстрому созреванию теста и сокращению общей продолжительности его брожения по сравнению с тестом из пшеничной муки.

В таблице 4 приведены значения органолептических и физико-химических показателей качества хлеба, выпеченного из анализируемых мучных смесей. Закономерно повышению ВПС мучных смесей повышается влажность выпеченных изделий из-за увеличения дозировки льняной муки. Внесение с льняной мукой свободных жирных кислот льняного масла и, вероятно, в какой-то степени свободных аминокислот, обуславливает динамичное нарастание значений титруемой кислотности мякиша хлеба по вариантам мучных смесей.

Снижение значений пористости и удельного объема хлеба находится в прямой корреляционной связи с уменьшением сахарообразующей и связанной с этим газообразующей способности мучных смесей, отмечаемым с увеличением дозировки льняной муки. В определенной степени на снижение значений пористости и удельного объема может также оказывать опосредованное влияние внесенных с льняной мукой полиненасыщенных жирных кислот. Гидропероксиды линолевой и линоленовой кислот окисляют сульфгидрильные группы белков с образованием новых дисульфидных связей, определяющих повышение прочности пространственной структуры белковых молекул клейковинного каркаса на стадиях созревания теста и выпечки хлеба.

С увеличением дозировки льняной муки с 10,0 % до 12,5 % происходило незначительное ухудшение состояния поверхности хлеба, корка становилась слабо шероховатой. Высокая влажность теста при внесении 12,5 % льняной муки способствовала более активному протеканию микробиологических и биохимических процессов при созревании теста. В результате поры становились более крупными и менее равномерными, толстостенными. Мякиш приобретал плотность и частично утрачивал характерную для пшеничного хлеба эластичность.

Особо следует отметить, что льняная мука оказывает существенное влияние на основные органолептические показатели – цвет и вкус изделий. С увеличением дозировки льняной муки мякиш хлеба становится более темным, серым; у него имеется

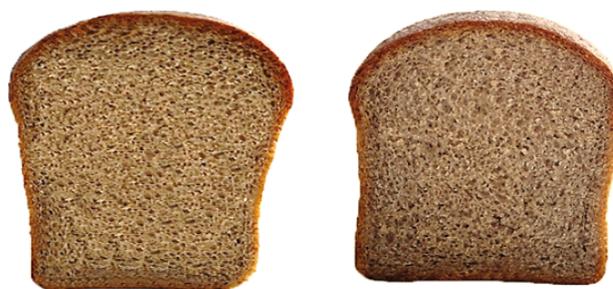


Рисунок 5 – Фото хлеба из пшеничной и льняной муки (слева – 7,5 %, справа – 10 %)

Figure 5 – Photo of bread made from wheat and flax flours (7.5% on the left, 10% on the right)

характерный привкус и запах льняной муки. При дозировке льняной муки 12,5 % привкус мякиша становится горьковатым, что является одной из основных причин не рекомендовать дальнейшее повышение доли льняной муки в мучных смесях.

Комплексный анализ экспериментальных данных позволяет рекомендовать в качестве оптимальных дозировок льняной муки интервал от 7,5 до 10,0 % (рис. 5). При такой дозировке льняной муки хлеб сохраняет правильную форму, имеет ровную и гладкую поверхность. Структура пористости характеризуется хорошим развитием, равномерная, с отсутствием пустот и уплотнений. Мякиш – эластичный, не плотный и не липкий.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Выводы

Таким образом, исследование реологических свойств теста из смесей пшеничной и льняной муки позволяет прогнозировать поведение теста в процессе замеса, брожения и расстойки, что дает возможность своевременно корректировать режимы технологического процесса и качество хлеба.

Наиболее значимыми при прогнозировании поведения теста и корректировке режимов технологического процесса являются индексы «Вязкость» и «Ретроградация крахмала». Они, в большей степени, подвержены изменению при повышении дозировки льняной муки.

По результатам исследования реологических свойств теста и оценки качества выпеченных изделий можно рекомендовать внесение льняной муки в состав мучных смесей в дозировке 7,5–10,0 %.

Список литературы

1. Ganorkar, P. M. Flaxseed – a nutritional punch / P. M. Ganorkar, R. K. Jain // International Food Research Journal. – 2013. – Vol. 20, № 2. – P. 519–525.
2. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food: review / A. Goyal, V. Sharma, N. Upadhyay [et al.] // Journal of Food Science and Technology. – 2014. – Vol. 51, № 9. – P. 1633–1653. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9>.
3. Flaxseed proteins: food uses and health benefits / H. N. Rabetafika, V. V. Remoortel, S. Danthine [et al.] // International Journal of Food Science & Technology. – 2011. – Vol. 46, № 2. – P. 221–228. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02477.x>.

4. Enzifst, L. E. Flaxseed (Linseed) fibre – nutritional and culinary uses – a review / L. E. Enzifst, M. E. Bveo // Food New Zealand. – 2014. – Vol. 14, № 2. – P. 26–28.
5. Flaxseed – a potential source of food, feed and fiber / K. K. Singh, D. Mridula, J. Rehal [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2011. – Vol. 51, № 3. – P. 210–222. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390903537241>.
6. Touré, A. Flaxseed lignans: Source, biosynthesis, metabolism, antioxidant activity, bio-active components, and health benefits / A. Touré, X. Xueming // Comprehensive Reviews in Food Sciences and Food Safety. – 2010. – Vol. 9, № 3. – P. 261–269. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00105.x>.
7. Phenolic glucosides in bread containing flaxseed / C. Strandas, A. Kamal-Eldin, R. Andersson [et al.] // Food chemistry. – 2008. – Vol. 10, № 4. – P. 997–999. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.088>.
8. Flaxseed protein-derived peptide fractions: antioxidant properties and inhibition of lipopolysaccharide-induced nitric oxide production in murine macrophages / C. C. Udenigwea, Y. L. Lub, C. H. Hanb [et al.] // Food chemistry. – 2009. – Vol. 116, № 1. – P. 277–284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.046>.
9. Flaxseed dietary fibers lower cholesterol and increase fecal fat excretion, but magnitude of effect depend on food type / M. Kristensen, M. G. Jensen, J. Aarestrup [et al.] // Nutrition & Metabolism. – 2012. – Vol. 9, № 8. DOI: <https://doi.org/10.1186/1743-7075-9-8>.
10. Effect of flaxseed gum on reduction of blood glucose and cholesterol in type 2 diabetic patients / G. Thakur, A. Mitra, K. Pal [et al.] // International journal of Food Sciences and Nutrition. – 2009. – Vol. 60, SUPPL. 6. – P. 126–136. DOI: <https://doi.org/10.1080/09637480903022735>.
11. Potential Health Benefits of Bread Supplemented with Defatted Flaxseeds Under Dietary Regimen in Normal and Type 2 Diabetic Subjects / D. A. Mohamed, S. Y. Al-Okbi, D. M. El-Hariri [et al.] // Polish journal of food and nutrition sciences. – 2012. – Vol. 62, № 2. – P. 103–108. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10222-011-0049-x>.
12. Park, J. B. Potential effects of lignan-enriched flaxseed powder on bodyweight, visceral fat, lipid profile, and blood pressure in rats / J. B. Park, M. T. Velasquez // Fitoterapia. – 2012. – Vol. 83, № 5. – P. 941–946. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2012.04.010>.
13. Characteristics of Flaxseed Oil from Two Different Flax Plants / Z. S. Zhang, L. J. Wang, D. Li [et al.] // International Journal of Food Properties. – 2011. – Vol. 14, № 6. – P. 1286–1296. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942911003650296>.
14. Worku, N. Diversity in 198 Ethiopian linseed (*Linum usitatissimum*) accessions based on morphological characterization and seed oil characteristics / N. Worku, J. S. Heslop-Harrison, W. Adugna // Genetic Resources and Crop Evolution. – 2015. – Vol 62, №7. – P. 1037–1053. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-014-0207-1>.
15. Asachuk, S. S. The effect of flaxseed oil on the spectrum of fatty acids of sphingomyelins and phosphatidylcholines of erythrocytes membranes in sportsmen / S. S. Asachuk // Vestnik of Vitebsk State Medical University. – 2017. – Vol. 16, № 1. – P. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2017.1.16>.
16. Studies on the protective effect of flaxseed oil on cisplatin-induced hepatotoxicity / A. Naqshbandi, W. Khan, S. Rizwan [et al.] // Human and Experimental Toxicology. – 2012. – Vol. 31, № 4. – P. 364–375. DOI: <https://doi.org/10.1177/0960327111432502>.
17. Truan, J. S. Flaxseed oil reduces the growth of human breast tumors (MCF-7) at high levels of circulating estrogen / J. S. Truan, J. M. Chen, L. U. Thompson // Molecular Nutrition & Food Research. – 2010. – Vol. 54, № 10. – P. 1414–1421. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900521>.
18. Dietary intervention of flaxseed: effect on serum levels of IGF-1, IGF-BP3, and C-peptide / S. R. Sturgeon, S. L. Volpe, E. Puleo [et al.] // Nutrition and Cancer. – 2011. – Vol. 63, № 3. – P. 376–380. DOI: <https://doi.org/10.1080/01635581.2011.535964>.
19. Cardioprotective effect of linseed oil against isoproterenol-induced myocardial infarction in Wistar rats: a biochemical and electrocardiographic study / A. Derbali, K. Mnafigui, A. El Feki [et al.] // Journal of Physiology and Biochemistry. – 2015. – Vol. 71, № 2. – P. 281–288. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13105-015-0411-2>.
20. Микроэлементный состав льняного масла / С. Л. Белопухов, И. И. Дмитриевская, А. В. Жевнеров [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 7. – С. 54–56.
21. Омега-3 жирные кислоты: диагностическое значение и роль индивидуальных особенностей организма пациентов / В. Е. Васильковский, Т. А. Горбач, А. В. Есипов [и др.] // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2012. – Т. 47, № 1. – С. 23–25.
22. Состав жирового компонента рациона и обеспеченность организма жирорастворимыми витаминами / В. М. Куденцова, А. А. Кочеткова, Е. А. Смирнова [и др.] // Вопросы питания. – 2014. – Т. 83, № 6. – С. 4–17.
23. Influence of combined supplementation of cows' diet with linseed and fish oil on the thrombogenic and atherogenic indicators of milk fat / K. Puppel, T. Nałecz-Tarwacka, B. Kuczyńska [et al.] // Animal Science Papers and Reports. – 2012. – Vol. 30, № 4. – P. 317–328.
24. Zduńczyk, Z. Poultry meat as functional food: modification of the fatty acid profile – a review / Z. Zduńczyk, J. Jankowski // Annals of Animal Science. – 2013. – Vol. 13, № 3. – P. 463–480. DOI: <https://doi.org/10.2478/aoas-2013-0039>.
25. The influence of dietary source of fatty acids on chemical composition of the body and utilization of linoleic and linolenic acids by pigs / S. Raj, E. Poławska, G. Skiba // Animal Science Papers and Reports. – 2010. – Vol. 28, № 4. – P. 355–362.
26. Зубцов, В. А. Биологические и физико-химические основы использования льняной муки для разработки хлебобулочных изделий / В. А. Зубцов, И. Э. Миневич // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2011. – № 3. – С. 10–13.
27. Effect of the use of ground flaxseed on quality and chemical composition of bread / O. Mentas, E. Bakkalbassi, R. Ercan // Food Science and Technology International. – 2008. – Vol. 14, № 4. – P. 299–306. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013212462231>.

28. Влияние добавки льняной муки на качественные показатели булочных изделий / С. П. Меренкова, А. А. Лукин, Д. А. Клейман // Известия вузов. Пищевая технология. – 2016. – Т. 353–354, № 5–6. – С. 10–13.
29. Бахтин, Г.Ю. Пищевые волокна для хлебобулочных и мучных кондитерских изделий / Г. Ю. Бахтин, Е. Ю. Егорова, В. В. Елесина // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2013. – Т. 146, № 11–12. – С. 36–40.
30. Конева, С. И. Особенности использования продуктов переработки семян льна при производстве хлебобулочных изделий / С. И. Конева // Ползуновский вестник. – 2016. – № 3. – С. 35–38.
31. Reasons for the ways of using oilcakes in food industry / M. S. Bochkarev, E. Yu. Egorova, I. Yu. Reznichenko [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 4–12. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-4-12>.
32. Renzyaeva, T. V. On the role of fats in baked flour goods / T. V. Renzyaeva // Foods and Raw Materials. – 2013. – Vol. 1, № 1. – P. 19–25. DOI: <https://doi.org/664.68/664.6: 665.1>.
33. Aliani, M. Effect of Flax Addition on the Flavor Profile and Acceptability of Bagels / M. Aliani, D. Ryland, G. N. Pierce // Journal of Food Science. – 2012. – Vol. 77, № 1. – P. S62–S70. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02509.x>.
34. Khouryieh, H. Effect of flaxseed flour incorporation on the physical properties and consumer acceptability of cereal bars / H. Khouryieh, F. Aramouni // Food Science and Technology International. – 2013. – Vol. 19, № 6. – P. 549–556. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013212462231>.
35. Khouryieh, H. Physical and sensory characteristics of cookies prepared with flaxseed flour / H. Khouryieh, F. Aramouni // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2012. – Vol. 92, № 11. – P. 2366–2372. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.5642>.
36. Определение сроков годности растительных масел-бэд при хранении в бытовых условиях / Е. Ю. Егорова, Н. Н. Рощина, В. М. Позняковский // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – Т. 319, № 1. – С. 91–93.
37. Development of functional bread containing nanoencapsulated omega-3 fatty acids / V. Gökmen, B. A. Mogol, R. B. Lumaga [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2011. – Vol. 105, № 4. – P. 585–591. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.021>.
38. Создание эмульсии льняного масла, инкапсулированного белок-полисахаридной смесью / В. А. Васькина, С. А. Бутин, К. В. Веретанникова [и др.] // Кондитерское производство. – 2016. – № 5. – С. 10–15.
39. ISO 17718:2013. Wholemeal and flour from wheat (*Triticum aestivum L.*) – Determination of rheological behavior as a function of mixing and temperature increase. – 2013. – P. 36.
40. Туляков, Д. Г. Биохимические и реологические свойства в оценке разных видов муки / Д. Г. Туляков, Е. П. Мелешкина, И. С. Витол // Хлебопродукты. – 2017. – № 6. – С. 30–34.

References

1. Ganorkar PM, Jain RK. Flaxseed – a nutritional punch. International Food Research Journal. 2013;20(2):519–525.
2. Goyal A, Sharma V, Upadhyay N, Gill S, Sihag M. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. Journal of Food Science and Technology-Mysore. 2014;51(9):1633–1653. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9>.
3. Rabetafika HN, Van Remoortel V, Danthine S, Paquot M, Blecker C. Flaxseed proteins: food uses and health benefits. International Journal of Food Science and Technology. 2011;46(2):221–228. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02477.x>.
4. Enzifst LE, Bveo ME. Flaxseed (Linseed) fibre – nutritional and culinary uses – a review. Food New Zealand. 2014;14(2):26–28.
5. Singh KK, Mridula D, Rehal J, Barnwal P. Flaxseed: A Potential Source of Food, Feed and Fiber. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2011;51(3):210–222. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390903537241>.
6. Toure A, Xu XM. Flaxseed Lignans: Source, Biosynthesis, Metabolism, Antioxidant Activity, Bio-Active Components, and Health Benefits. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2010;9(3):261–269. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00105.x>.
7. Strandas C, Kamal-Eldin A, Andersson R, Aman P. Phenolic glucosides in bread containing flaxseed. Food Chemistry. 2008;110(4):997–999. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.088>.
8. Udenigwe CC, Lu YL, Han CH, Hou WC, Aluko RE. Flaxseed protein-derived peptide fractions: Antioxidant properties and inhibition of lipopolysaccharide-induced nitric oxide production in murine macrophages. Food Chemistry. 2009;116(1):277–284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.046>.
9. Kristensen M, Jensen MG, Aarestrup J, Petersen KEN, Sondergaard L, Mikkelsen MS, et al. Flaxseed dietary fibers lower cholesterol and increase fecal fat excretion, but magnitude of effect depend on food type. Nutrition & Metabolism. 2012;9(8). DOI: <https://doi.org/10.1186/1743-7075-9-8>.
10. Thakur G, Mitra A, Pal K, Rousseau D. Effect of flaxseed gum on reduction of blood glucose and cholesterol in type 2 diabetic patients. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2009;60:126–136. DOI: <https://doi.org/10.1080/09637480903022735>.
11. Mohamed DA, Al-Okbi SY, El-Hariri DM, Mousa II. Potential Health Benefits of Bread Supplemented with Defatted Flaxseeds under Dietary Regimen in Normal and Type 2 Diabetic Subjects. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2012;62(2):103–108. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10222-011-0049-x>.
12. Park JB, Velasquez MT. Potential effects of lignan-enriched flaxseed powder on bodyweight, visceral fat, lipid profile, and blood pressure in rats. Fitoterapia. 2012;83(5):941–946. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2012.04.010>.
13. Zhang ZS, Wang LJ, Li D, Li SJ, Ozkan N. Characteristics of flaxseed oil from two different flax plants. International Journal of Food Properties. 2011;14(6):1286–1296. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942911003650296>.

14. Worku N, Heslop-Harrison JS, Adugna W. Diversity in 198 Ethiopian linseed (*Linum usitatissimum*) accessions based on morphological characterization and seed oil characteristics. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2015;62(7):1037–1053. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-014-0207-1>.
15. Asachuk SS. The effect of flaxseed oil on the spectrum of fatty acids of sphingomyelins and phosphatidylcholines of erythrocytes membranes in sportsmen. *Vestnik of Vitebsk State Medical University*. 2017;16(1):16–22. DOI: <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2017.1.16>.
16. Naqshbandi A, Khan W, Rizwan S, Khan F. Studies on the protective effect of flaxseed oil on cisplatin-induced hepatotoxicity. *Human & Experimental Toxicology*. 2012;31(4):364–375. DOI: <https://doi.org/10.1177/0960327111432502>.
17. Truan JS, Chen JM, Thompson LU. Flaxseed oil reduces the growth of human breast tumors (MCF-7) at high levels of circulating estrogen. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2010;54(10):1414–1421. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900521>.
18. Sturgeon SR, Volpe SL, Puleo E, Bertone-Johnson ER, Heersink J, Sabelawski S, et al. Dietary Intervention of Flaxseed: Effect on Serum Levels of IGF-1, IGF-BP3, and C-Peptide. *Nutrition and Cancer-an International Journal*. 2011;63(3):376–380. DOI: <https://doi.org/10.1080/01635581.2011.535964>.
19. Derbali A, Mnafigui K, Affes M, Derbali F, Hajji R, Gharsallah N, et al. Cardioprotective effect of linseed oil against isoproterenol-induced myocardial infarction in Wistar rats: a biochemical and electrocardiographic study. *Journal of Physiology and Biochemistry*. 2015;71(2):281–288. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13105-015-0411-2>.
20. Belopukhov SL, Dmitrevskaya II, Zhevnerov AV, Volkov AYu. Microelement content of linseed oil. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2011;(7):54–56. (In Russ.).
21. Vaskovsky VE, Gorbach TA, Esipov AV, Svetashev VI, Yatskova MA. Omega-3 fatty acids: diagnostic value and role of individual features in patients' organisms. *Pacific Medical Journal*. 2012;47(1):23–25. (In Russ.).
22. Kodentsova VM, Kochetkova AA, Smirnova EA, Sarkisyan VA, Bessonov VV. Fat component in the diet and providing with fat-soluble vitamins. *Problems of Nutrition*. 2014;83(6)4–17. (In Russ.).
23. Puppel K, Nalecz-Tarwacka T, Kuczynska B, Golebiewski M, Grodzki H. Influence of combined supplementation of cows' diet with linseed and fish oil on the thrombogenic and atherogenic indicators of milk fat. *Animal Science Papers and Reports*. 2012;30(4):317–328.
24. Zdunczyk Z, Jankowski J. Poultry meat as functional food: modification of the fatty acid profile – a review. *Annals of Animal Science*. 2013;13(3):463–480. DOI: <https://doi.org/10.2478/aoas-2013-0039>.
25. Raj S, Polawska E, Skiba G, Weremko D, Fandrejewski H, Skomial J. The influence of dietary source of fatty acids on chemical composition of the body and utilization of linoleic and linolenic acids by pigs. *Animal Science Papers and Reports*. 2010;28(4):355–362.
26. Zubtsov VA, Minevich IE. Biological and physical and chemical bases of use of a linen flour for working out of bakery products. *Storage and processing of farm products*. 2011;(3):10–13. (In Russ.).
27. Mentés O, Bakkalbasi E, Ercan R. Effect of the Use of Ground Flaxseed on Quality and Chemical Composition of Bread. *Food Science and Technology International*. 2008;14(4):299–306. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013208097192>.
28. Merenkova SP, Lukin AA, Kleyman DA. Influence of flaxseed flour additives on quality parameters of bakery products. *News institutes of higher Education. Food technology*. 2016;353–354(5–6):10–13. (In Russ.).
29. Bakhtin GYu, Egorova EYu, Elesina VV. Pishchevye volokna dlya khlebobulochnykh i muchnykh konditerskikh izdeliy [Food fibers for bakery and pastry]. *Confectionary and bread baking*. 2013;146(11–12):36–40. (In Russ.).
30. Koneva SI. Osobennosti ispol'zovaniya produktov pererabotki semyan l'na pri proizvodstve khlebobulochnykh izdeliy [Specifications of the use of flax seed processing products in bakery]. *Polzunovsky vestnik*. 2016;(3):35–38. (In Russ.).
31. Bochkarev MS, Egorova EYu, Reznichenko IYu, Poznyakovskiy VM. Reasons for the ways of using oil-cakes in food industry. *Foods and Raw Materials*. 2016;4(1):4–12. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-4-12>.
32. Renzyaeva TV. On the role of fats in baked flour goods. *Foods and Raw Materials*. 2013;1(1):19–25. DOI: <https://doi.org/664.68/664.6:665.1>.
33. Aliani M, Ryland D, Pierce GN. Effect of Flax Addition on the Flavor Profile and Acceptability of Bagels. *Journal of Food Science*. 2012;77(1):S62–S70. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02509.x>.
34. Houryieh H, Aramouni F. Effect of flaxseed flour incorporation on the physical properties and consumer acceptability of cereal bars. *Food Science and Technology International*. 2013;19(6):549–556. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013212462231>.
35. Houryieh H, Aramouni F. Physical and sensory characteristics of cookies prepared with flaxseed flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012;92(11):2366–2372. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.5642>.
36. Egorova EYu, Roshchina NN, Poznyakovskiy VM. Opredelenie srokov godnosti rastitel'nykh masel-bad pri khranении v bytovykh usloviyakh [Determination of shelf life of ONS vegetable oils when stored in domestic conditions]. *News of institutes of higher Education. Food technology*. 2011;319(1):91–93. (In Russ.).
37. Gokmen V, Magol BA, Lumaga RB, Fogliano V, Kaplun Z, Shimoni E. Development of functional bread containing nanoencapsulated omega-3 fatty acids. *Journal of Food Engineering*. 2011;105(4):585–591. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.021>.
38. Vaskina VA, Butin SA, Veretennikova EV, Mukhamediev ShA. Creation of Linseed Oil Emulsion, the Encapsulated Protein-Polysaccharide Mixture. *Confectionery manufacture*. 2016;(5):10–15. (In Russ.).
39. ISO 17718:2013. Wholemeal and flour from wheat (*Triticum aestivum* L.) – Determination of rheological behavior as a function of mixing and temperature increase. 2013. 36 p.

40. Tulyakov DG, Meleshkina EP, Vitol IS. Biochemical and rheological properties in the evaluation of different types of flour. Bread products. 2017;(6):30–34. (In Russ.).

Конева Светлана Ивановна

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии хранения и переработки зерна, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, тел. +7 (3852) 29-07-55, e-mail: skoneva22@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6727-5979>

Егорова Елена Юрьевна

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры технологии хранения и переработки зерна, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, ул. Ленина, 46, тел. +7 (3852) 29-07-55, e-mail: egorovaeyu@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

Козубаева Людмила Алексеевна

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии хранения и переработки зерна, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, тел. +7 (3852) 29-07-55, e-mail: cosubaeva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5131-4654>

Резниченко Ирина Юрьевна

д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой управления качеством, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. +7 (903) 942-93-22, e-mail: irina.reznichenko@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

Svetlana I. Koneva

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Grain Processing, Polzunov Altai State Technical University, 46, Lenina Ave., Barnaul, 656038, Russia, phone: +7 (3852) 29-07-55, e-mail: skoneva22@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6727-5979>

Elena Yu. Egorova

Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Technology of Storage and Grain Processing, Polzunov Altai State Technical University, 46, Lenina Ave., Barnaul, 656038, Russia, phone: +7 (3852) 29-07-55, e-mail: egorovaeyu@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

Lyudmila A. Kozubaeva

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Grain Processing, Polzunov Altai State Technical University, 46, Lenina Ave., Barnaul, 656038, Russia, phone: +7 (3852) 29-07-55, e-mail: cosubaeva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5131-4654>

Irina Yu. Reznichenko

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of the Department of Quality Management, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (903) 942-93-22, e-mail: irina.reznichenko@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>