

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2431>
<https://elibrary.ru/UFGXHM>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Технологические свойства теста из смеси ржаной и пшеничной муки с продуктами переработки облепихи



С. И. Конева¹, А. С. Захарова¹, Л. Е. Мелёшкина¹,
Е. Ю. Егорова^{1,*}, И. А. Машкова²

¹ Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова^{ROR}, Барнаул, Россия

² Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий^{ROR},
Могилев, Республика Беларусь

Поступила в редакцию: 04.08.2022
Принята после рецензирования: 30.08.2022
Принята к публикации: 06.09.2022

*Е. Ю. Егорова: egorovaeyu@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>
С. И. Конева: <https://orcid.org/0000-0002-6727-5979>
А. С. Захарова: <https://orcid.org/0000-0002-7571-0950>
Л. Е. Мелёшкина: <https://orcid.org/0000-0003-0812-3630>
И. А. Машкова: <https://orcid.org/0000-0002-9948-6754>

© С. И. Конева, А. С. Захарова, Л. Е. Мелёшкина, Е. Ю. Егорова, И. А. Машкова, 2023



Аннотация.

Введение продуктов переработки плодово-ягодного сырья в рецептуры хлебобулочных и мучных кондитерских изделий сопровождается изменением реологических свойств и качества теста. Плоды облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) и продукты их переработки, благодаря богатому биохимическому составу, рассматриваются как ценные пищевые ингредиенты. Целью работы являлось комплексное исследование технологических свойств теста из мучных смесей, приготовленных на основе ржаной и пшеничной муки с добавлением облепихового шрота и сухого облепихового экстракта.

Объектами исследования являлись сухой экстракт из плодов облепихи (ООО «Вистерра», Россия) и измельченный облепиховый шрот, который получили после отжима облепихового сока с последующей сушкой конвективным способом; мучные смеси из ржаной обдирной муки и муки пшеничной первого сорта (60:40) с добавлением облепихового экстракта и шрота; тесто и хлеб из экспериментальных мучных смесей. В работе использовали стандартные и отраслевые методы контроля сырья, полуфабрикатов и готовой продукции хлебопекарного производства.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что облепиховый шрот и экстракт можно рассматривать в качестве источника белка (10,3 и 4,3 %), сырой клетчатки (8,7 и 0,3 %), пектина (5,27 и 0,11 %) и аскорбиновой кислоты (21,63 и 53,68 мг/100 г). Высокая кислотность вносимых продуктов переработки облепихи (4,9 и 3,0 % для экстракта и шрота соответственно) способствует более длительному набуханию белковых веществ и пищевых волокон, а также тормозит действие активной α -амилазы. Это приводит к улучшению реологических свойств и увеличению времени образования и стабильности теста. Установлено положительное влияние продуктов переработки облепихи на процессы кристаллизации крахмала, что предполагает снижение эффекта его ретроградации при хранении выпеченного хлеба. Установлена возможность сокращения дозировки жидкой ржаной закваски в два раза от традиционной (с 30 до 15 %). Достижение конечной кислотности 7,5–8,0 град. отмечено через 80 мин брожения, что на 10 мин меньше, чем в варианте с контрольным образцом. Выпеченный хлеб получился правильной формы, с хорошо разрыхленным и не заминающимся мякишем, с приятным облепиховым привкусом и ароматом.

Полученные результаты изучения биохимических свойств продуктов переработки облепихи и улучшения технологических свойств теста и выпеченного хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки подтверждают возможность использования продуктов переработки облепихи в качестве дополнительных компонентов-подкислителей, позволяющих регулировать амилолитическую активность теста из смеси ржаной и пшеничной муки, при сокращении дозировки жидкой ржаной закваски до 15 % и продолжительности брожения теста из смеси ржаной и пшеничной муки до кислотности 7,5–8,0 град.

Ключевые слова. *Hippophaë rhamnoides* L., облепиховый шрот, сухой облепиховый экстракт, тесто, реологические свойства, амилолитическая активность, миксолабограмма

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России)^{ROR} (мнемокод 0611-2020-013; номер темы FZMM-2020-0013, ГЗ № 075-00316-20-01).

Для цитирования: Технологические свойства теста из смеси ржаной и пшеничной муки с продуктами переработки облепихи / С. И. Конева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 247–258. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2431>

Technological Properties of Dough from a Mix of Rye and Wheat Flour with Processed Sea Buckthorn



Svetlana I. Koneva¹, Alexandra S. Zakharova¹,
Larisa E. Meleshkina¹, Elena Yu. Egorova^{1,*},
Iryna A. Mashkova²

¹ Polzunov Altai State Technical University^{ROR}, Barnaul, Russia

² Belarusian State University of Food and Chemical Technologies^{ROR}, Mogilev, Republic of Belarus

Received: 04.08.2022

Revised: 30.08.2022

Accepted: 06.09.2022

*Elena Yu. Egorova: egorovaeyu@mail.ru,

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

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

Alexandra S. Zakharova: <https://orcid.org/0000-0002-7571-0950>

Larisa E. Meleshkina: <https://orcid.org/0000-0003-0812-3630>

Iryna A. Mashkova: <https://orcid.org/0000-0002-9948-6754>

© S.I. Koneva, A.S. Zakharova, L.E. Meleshkina, E.Yu. Egorova,
I.A. Mashkova, 2023



Abstract.

Processed fruit and berry raw materials often become part of bakery formulations. They increase the nutritional value of the finished product and change the rheological properties of the dough. Processed sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) maintains natural biochemical properties, which makes it a valuable food ingredient. The research objective was to conduct a comprehensive study of the technological properties of dough made of rye and wheat flour with sea buckthorn meal and dry sea buckthorn extract.

The research involved sea buckthorn extract and meal mixed with wheat and rye flour, as well as dough and bread from the experimental flour mixes. The experimental part included standard methods used in the bakery industry.

The sea buckthorn meal and extract contained protein (10.3 and 4.3%), crude fiber (8.7 and 0.3%), pectin (5.27 and 0.11%), and ascorbic acid (21.63 and 53.68 mg/100 g). They were highly acidic: 4.9 and 3.0%, respectively. As a result, protein substances and dietary fibers took a longer time to swell. The high acidity also inhibited α -amylase, which improved the rheological properties but increased the dough development time and stability. The sea buckthorn products had a positive effect on the starch crystallization processes and reduced the storage-related starch degradation. The sensory evaluation of the bread described its shape as regular, with fluffy crumb and pleasant sea buckthorn flavor.

Thus, sea buckthorn meal and extract proved excellent technological acidifiers and regulators of amylolytic activity. The additives made it possible to reduce the amount of liquid rye sourdough from 30 to 15% and the fermentation time because the dough acidity reached 7.5–8.0 degrees.

Keywords. *Hippophaë rhamnoides* L., dough, sea buckthorn meal, dry sea buckthorn extract, rheological properties, amylolytic activity, mixolabogram

Funding. This work was supported by the project 075-00316-20-01 (FZMM-2020-0013, mnemocode 0611-2020-013) from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauki)^{ROR}.

For citation: Koneva SI, Zakharova AS, Meleshkina LE, Egorova EYu, Mashkova IA. Technological Properties of Dough from a Mix of Rye and Wheat Flour with Processed Sea Buckthorn. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):247–258. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2431>

Введение

Совершенствование технологий производства продуктов питания посредством направленной коррекции их химического состава за счет использования биологически ценного природного сырья является важной задачей, интересующей

специалистов пищевой промышленности во всем мире. Такая коррекция должна осуществляться в отношении продуктов питания массового потребления как наиболее эффективная.

Хлебобулочные и мучные кондитерские изделия сохраняют свои позиции как наиболее

потребляемые группы продуктов. Это обуславливает целесообразность работы над повышением их пищевой ценности и поиском новых технологических решений и видов сырья. Определенные перспективы может иметь введение в их состав плодово-ягодных шротов и экстрактов, характеризующихся высоким содержанием биологически активных веществ, сбраживаемых углеводов и органических кислот [1–3]. Для экстрактов доказаны не только возможность извлечения комплекса биологически активных веществ из плодово-ягодного сырья в процессе экстрагирования, но и сохранение антиоксидантной активности [4–6].

Примером ценного дикорастущего сырья Алтайского края, способного служить источником дополнительных макро- и микронутриентов для производства разных продуктов питания, являются плоды облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.). Плоды облепихи содержат почти 200 видов соединений: углеводный комплекс представлен сахарами и пектиновыми веществами, плоды богаты органическими кислотами, полифенольными веществами и каротиноидами, есть водо- и жирорастворимые витамины; определенную ценность представляет состав минеральных веществ [7–10]. Ценность каротиноидов и полифенолов облепихи заключается в антиоксидантной и провитаминовой активности. Это выражается в проявлении гипохолестеринемического, антисклеротического и спазмолитического эффектов, регуляции синтеза желчных кислот, антимутагенных и противоопухолевых свойств [11–16]. Содержание токоферолов в плодах различных сортов облепихи варьируется от 12 до 65 мг/100 г [17].

Достаточно высокое содержание биологически активных компонентов в плодах облепихи определяет интерес специалистов к самой облепихе и продуктам ее переработки – маслу, соку, экстрактам и шроту [18–21]. Облепиховый шрот отличается высоким содержанием каротиноидов (5–15 мг/100 г), пищевых волокон (до 50,5 %, в т. ч. клетчатка – 19,98 %, гемицеллюлозы – 10,69 % и лигнин – 18,36 %), флавоноидов, ряда витаминов и минеральных элементов (В₁, В₂, РР, С, Р, Е, калий, кальций, магний, железо, цинк, медь и марганец). Установлено наличие в облепиховом шроте биологически активных урсоловой и олеаноловой кислот, а наличие лигнин-углеводного комплекса обуславливает комплексобразующие и адсорбционные свойства шрота по отношению к ионам тяжелых металлов [1, 22]. В экстракты плодов облепихи переходит определенное количество липидов, поэтому они являются ценным источником водо- и жирорастворимых биологически активных соединений: токоферолов, каротиноидов, полифенолов, органических кислот, витаминов и минеральных веществ, которые обладают антиоксидантной эффективностью [8, 23, 24].

С технологической точки зрения использование облепихового шрота и сухого облепихового экстракта в условиях хлебопекарного производства имеет ряд преимуществ по сравнению с использованием плодов облепихи. И шрот, и экстракт – это сыпучее сырье с низкой влажностью, легко дозируемое и смешивающееся с мукой, имеющее высокую кислотность (что важно для теста из смеси ржаной и пшеничной муки) и обладающее достаточной степенью гидратации. Можно предположить, что высокая кислотность продуктов переработки облепихи способна влиять на углеводно-амилазный комплекс ржано-пшеничного теста, в том числе на активность α -амилазы. Изменение углеводно-амилазного комплекса будет оказывать влияние на процессы клейстеризации крахмала и на последующий процесс его ретроградации. Нерастворимые в воде пищевые волокна должны способствовать изменению водопоглотительной способности мучных смесей, что повлияет на продолжительность замеса полуфабрикатов и их стабильность [25, 26]. Таким образом, облепиховый шрот и экстракт не могут не оказывать влияние на реологические свойства полуфабрикатов, что будет предопределять качество готовой продукции.

Анализ публикаций свидетельствует о дефиците научных данных, позволяющих установить влияние продуктов переработки облепихи на реологические и технологические свойства теста. Во многих научных работах встречаются сведения о влиянии разных функциональных добавок на реологические свойства пшеничного и ржаного теста [27–31]. Однако сведений об изменении реологических свойств теста из смеси ржаной и пшеничной муки как с внесением продуктов переработки облепихи, так и без них в научной литературе не представлено. Торговые наименования хлеба, выпеченного из смеси ржаной и пшеничной муки в соотношении 60:40, относятся к наиболее востребованным у потребителей.

Целью работы являлось исследование реологических свойств теста из мучных смесей, приготовленных из ржаной и пшеничной муки с добавлением облепихового шрота и сухого облепихового экстракта, и выявление общих закономерностей влияния дозировки продуктов переработки облепихи на эти свойства и процессы, характеризующие скорость образования и стабильность теста, амилотическую активность и ретроградацию крахмала, с обоснованием режимов технологического процесса приготовления теста.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования на разных этапах работы выступали:

– сухой экстракт из плодов облепихи производства ООО «Вистерра» (Алтайский край, с. Алтайское; СТО 20997969003-2014), представляющий собой

мелкодисперсный порошок желто-оранжевого цвета с ярко выраженным вкусом и запахом облепихи;

- измельченный шрот из плодов облепихи, который получали из плодов ягоды после отжима облепихового сока с последующей сушкой конвективным способом при температуре 55–60 °С в течение 3–4 ч до содержания влаги в продукте 10–11 %. Высушенный шрот подвергали измельчению и просеивали на ситах с размером ячеек 0,5 мм. Полученный облепиховый шрот представлял собой оранжево-коричневый порошок с дисперсностью менее 0,5 мм и обладал характерным вкусом плодов облепихи;
- мучные смеси из ржаной обдирной муки и муки пшеничной хлебопекарной первого сорта (соотношение 60:40) и сухого облепихового экстракта в соотношении 92,5:7,5 (по массе);
- мучные смеси из ржаной обдирной муки и муки пшеничной хлебопекарной первого сорта (соотношение 60:40) и облепихового шрота в соотношении 92,5:7,5 (по массе);
- тесто и хлеб, приготовленные на основе экспериментальных мучных смесей.

Дозировка внесения в мучные смеси облепихового шрота и экстракта 7,5 % установлена как максимально возможная по результатам серии предварительных исследований, показавших, что повышение дозировки подавляет бродительную активность дрожжей.

Массовую долю влаги в продуктах переработки плодов облепихи определяли с использованием установки измерительной воздушно-тепловой АСЭШ-8-1, массовую долю золы – с использованием печи муфельной МИМП-10У, массовую долю сырой клетчатки – по ГОСТ 31675-2012 с использованием прибора для извлечения и определения общего содержания клетчатки FIWE. Кислотность продуктов переработки плодов облепихи определяли по ГОСТ 15113.5-77. Определение белка провели на установке Кьельдаля по ГОСТ 10846-91. При установлении массовой доли сырого жира по методике ГОСТ 15113.9-77 использовали экстракционный аппарат SER-148. Для определения каротиноидов в работе использовали фотометр электрический КФК-3-01 ЗОМЗ и методику ГОСТ Р 51181-98. Массовую долю аскорбиновой кислоты устанавливали титриметрическим методом по ГОСТ 24556-89, массовую долю пектина – фотометрическим методом по ГОСТ 32223-2013, массовую долю редуцирующих веществ и сахаров – перманганатным методом по ГОСТ 8756.13-87.

Замес теста реализован в лабораторной тестомесилке У1-ЕТВ. Органолептические и физико-химические характеристики теста изучали по принятым в хлебопекарной отрасли методикам (Правила организации и ведения технологического процесса на хлебопекарных предприятиях, 1999). Реологические свойства теста изучали на приборе

Mixolab (Chopin Technologies, Франция) по методике ГОСТ ISO 17718-2015 с использованием режима для теста из смеси ржаной и пшеничной муки в соответствии с техническим описанием к прибору в протоколе «Chopin+», имитирующем технологические условия приготовления теста и выпечки хлеба.

Экспериментальные образцы хлеба выпекали в лабораторной хлебопекарной печи конвекционного типа UNOXXB 693 (UNOX, Италия). В качестве базовой рецептуры использовали унифицированную рецептуру хлеба «Дарницкий» (соотношение ржаной и пшеничной муки 60:40). Приготовление теста осуществляли в две фазы: закваска – тесто. Контрольные образцы хлеба выпекали без введения продуктов переработки облепихи. Облепиховый шрот и сухой облепиховый экстракт вносили в количестве 7,5 % к массе муки на этапе замеса теста. При замесе теста для проб с добавлением облепихового шрота и экстракта расход жидкой ржаной закваски сокращали до 15 %. Варианты опыта: образец 1 – контроль, образец 2 – тесто из смеси ржаной и пшеничной муки с добавлением 7,5 % сухого облепихового экстракта, образец 3 – тесто из смеси ржаной и пшеничной муки с добавлением 7,5 % облепихового шрота.

Органолептические показатели качества хлеба определяли в соответствии с методиками ГОСТ 5667-65. Профилограмма хлеба из экспериментальных мучных смесей построена по результатам оценки качества выпеченных изделий с использованием 5-балльной шкалы.

Все исследования проводили в 3-кратной повторности с обработкой результатов в программном приложении Microsoft Office Excel.

Результаты и их обсуждение

Фактические значения компонентов биохимического состава облепихового экстракта и шрота, определенные авторами, представлены в таблице 1. Согласно результатам анализа шрот и экстракт характеризуются высоким содержанием редуцирующих веществ (14,81 и 35,77 % соответственно), основными в составе которых являются простые сахара.

Согласно результатам лабораторных исследований рассматриваемого дополнительного сырья облепиховый шрот отличается высоким содержанием белка ($10,3 \pm 0,5$ %), сырой клетчатки (8,7 %) и пектина (5,27 %) по сравнению с облепиховым экстрактом ($4,3 \pm 0,2$, 0,3 и 0,11 % соответственно). Оба вида сырья богаты органическими кислотами и витамином С. Рассматривая эти виды сырья в качестве источников незаменимых нутриентов, можно отметить преимущества каждого из них. Высокая кислотность исследуемых продуктов переработки облепихи (4,9 и 3,0 % в пересчете на яблочную кислоту для экстракта и шрота соответственно) может способствовать более длительному

Таблица 1. Химический состав облепихового шрота и сухого облепихового экстракта

Table 1. Chemical composition of sea buckthorn meal and extract

Наименование показателя	Значение показателя/Продукт переработки плодов облепихи	
	Сухой облепиховый экстракт	Облепиховый шрот
Массовая доля влаги, %	4,5 ± 0,3	9,1 ± 0,3
Массовая доля белка, %	4,3 ± 0,2	10,3 ± 0,5
Массовая доля сырого жира, %	0,9 ± 0,2	26,9 ± 4,3
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,30 ± 0,01	8,70 ± 0,02
Массовая доля золы, %	1,80 ± 0,03	2,58 ± 0,02
Массовая доля каротиноидов, мг/100 г	2,20 ± 0,02	3,73 ± 0,02
Кислотность, % (на яблочную кислоту)	4,90 ± 0,07	3,00 ± 0,02
Массовая доля аскорбиновой кислоты, мг/100 г	53,68 ± 0,06	21,63 ± 0,02
Массовая доля пектина, %	0,11 ± 0,01	5,27 ± 0,02
Массовая доля редуцирующих веществ, %	35,77 ± 0,05	14,81 ± 0,01
Массовая доля сахаров, %	20,16 ± 0,03	10,08 ± 0,02

набуханию белковых веществ и пищевых волокон при замесе теста, тормозить действие активной α -амилазы, содержащейся в ржаной муке, и улучшить реологические свойства теста. Это позволит использовать облепиховый шрот и сухой экстракт в качестве сырья, способного выполнять функции технологических компонентов для регулирования свойств теста.

Данные миксолабограмм смесей из ржаной и пшеничной муки с добавлением и без добавления продуктов переработки облепихи (рис. 1–3) демонстрируют наличие выраженных различий в параметрах реологического профиля и оцениваемых прибором индексов. Это свидетельствует о разной скорости процессов образования и развития теста.

Основные параметры протокола «Chopin+» представлены в таблице 2.

В таблице 3 приведены расчетные данные скоростей, характеризующих биохимические реакции при проведении исследования в точках экстремума графика миксолабограммы в пяти интервалах температур: α – характеристика скорости разжижения, β – характеристика скорости реакции клейстеризации крахмала, γ – характеристика скорости амилолиза. Для построения целевого профиля – профайлера экспериментальных образцов теста (рис. 4) – и интерпретации полученных данных использовали приведенные в таблице 4 интеграционные индексы миксолаба исследуемых образцов.

Хлебопекарные свойства ржаной муки отличаются от свойств пшеничной муки более активными амилитическими ферментами, более низкой температурой клейстеризации крахмала и его более высокой податливостью при воздействии ферментов. Кроме того, ржаная мука обладает высоким

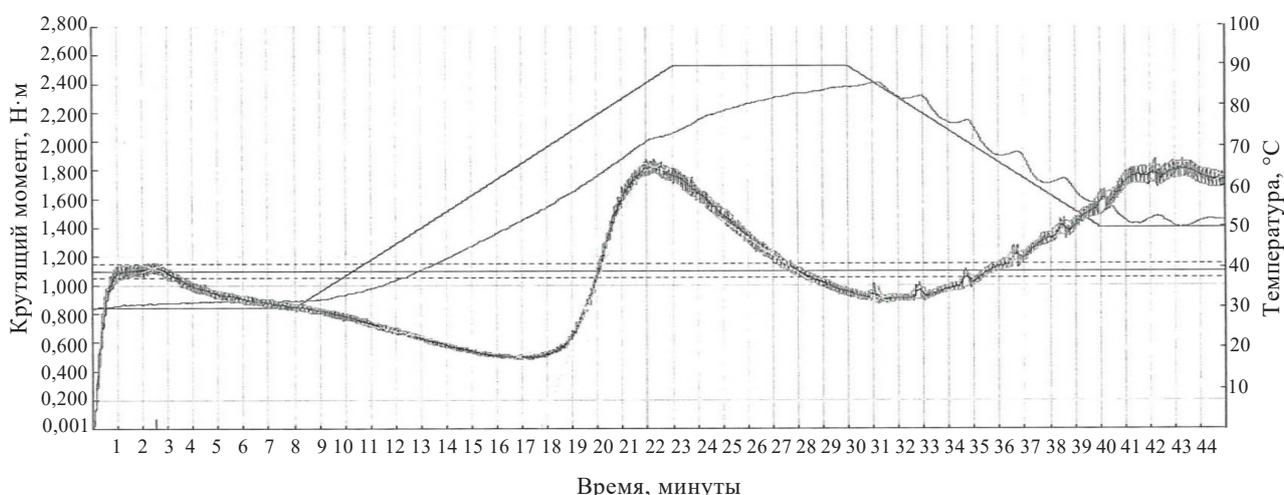


Рисунок 1. Миксолабограмма теста из смеси ржаной и пшеничной муки, соотношение 60:40 (образец 1 – контроль)

Figure 1. Mixolabogram of dough from a mix of rye and wheat flour, ratio 60:40 (sample 1 served as control)

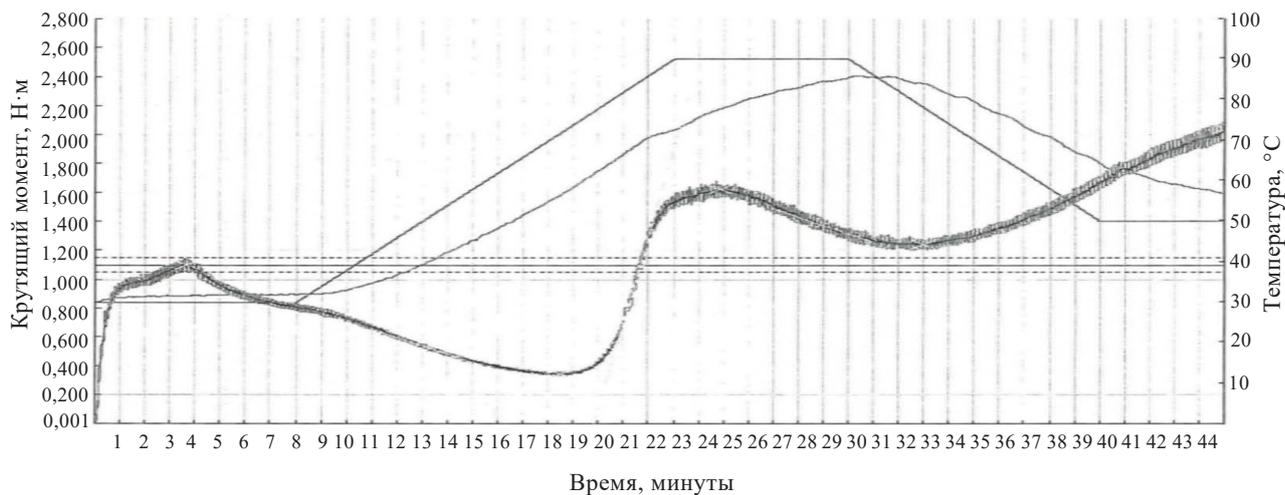


Рисунок 2. Миксолабограмма теста из смеси ржаной и пшеничной муки (соотношение 60:40) с добавлением 7,5 % экстракта облепихи (образец 2)

Figure 2. Mixolabogram of dough from a mix of rye and wheat flour (ratio 60:40) with 7.5% sea buckthorn extract (sample 2)

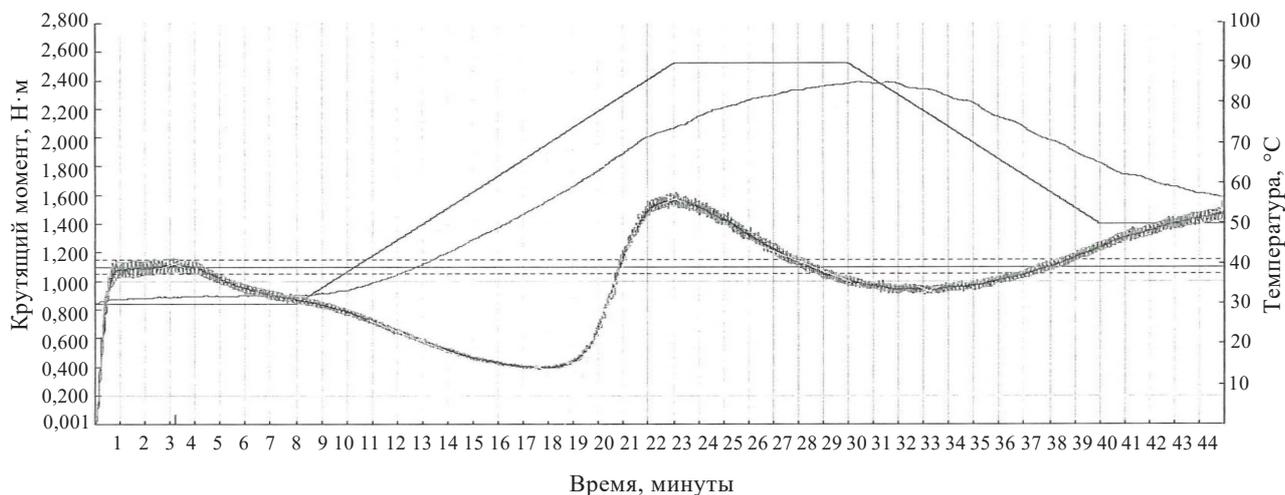


Рисунок 3. Миксолабограмма теста из смеси ржаной и пшеничной муки (соотношение 60:40) с добавлением 7,5 % облепихового шрота (образец 3)

Figure 3. Mixolabogram of dough from a mix of rye and wheat flour (ratio 60:40) with 7.5% sea buckthorn meal (sample 3)

Таблица 2. Основные параметры протокола «Chopin+»

Table 2. Chopin+ protocol: main parameters

Образец	Водопоглотительная способность, %	Стабильность, мин	C1		C2		C3		C4		C5	
			t, мин	M, Н·м								
1	65,2	3,78	2,43	1,12	16,85	0,50	22,32	1,82	31,30	0,90	45,03	1,75
2	61,4	5,17	3,15	1,12	17,57	0,40	23,05	1,57	33,20	0,93	45,02	1,50
3	56,5	3,92	3,67	1,10	18,48	0,34	24,87	1,62	33,00	1,24	45,05	2,04

M – момент силы теста, t – время. Точки экстремума графика, характеризующие процессы: C1 – образование теста при 30 °С; C2 – разжижение теста при последовательном повышении температуры от 30 до 90 °С; C3 – максимальная скорость гелеобразования крахмала при 90 °С; C4 – начало ретроградации крахмала при последовательном снижении температуры от 90 до 50 °С; C5 – окончание ретроградации крахмала при 50 °С.

M – moment of force of the dough; t – time. Extremum points: C1 – dough formation at 30°C; C2 – liquefaction of the dough with a consistent increase in temperature from 30 to 90°C; C3 – maximal rate of starch gelation at 90°C; C4 – onset of starch retrogradation with a gradual decrease in temperature from 90 to 50°C; C5 – end of starch retrogradation at 50°C.

Таблица 3. Расчетные данные скоростей реакций

Table 3. Calculated reaction rates

Пробы	Скорости реакций, Н·м/мин		
	α	β	γ
Образец 1	-0,400	0,448	-0,122
Образец 2	-0,070	0,480	-0,070
Образец 3	-0,058	0,600	-0,058

α – характеристика скорости реакции разжижения; β – характеристика скорости реакции клейстеризации крахмала; γ – характеристика скорости амилолиза.

α – liquefaction reaction rate; β – starch gelatinization reaction rate; γ – amylolysis rate.

Таблица 4. Индексы профайлера миксолаба

Table 4. Mixolab profiler indexes

Наименование и обозначение показателя	Образцы мучных смесей		
	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Водопоглотительная способность	8	3	8
Индекс «Замес» (C1)	2	2	2
Индекс «Глютен+» (C2)	8	5	5
Индекс «Вязкость» (C3)	6	3	3
Индекс «Амилолитическая активность» (C4)	1	3	1
Индекс «Ретроградация крахмала» (C5)	5	4	3

содержанием собственных сахаров и пентозанов, а ее белковые вещества характеризуются способностью к неограниченному набуханию и пептизации. Все это обуславливает отличия механизма образования и развития ржаного теста и теста из смеси ржаной и пшеничной муки по сравнению с пшеничным. Таким образом, реологические свойства теста из смеси ржаной и пшеничной муки – водопоглотительная способность, время образования и консистенция теста, его стабильность и вязкость при замесе – обусловлены не столько качеством и количеством белковых веществ, активностью протеолитических ферментов, сколько активностью амилолитических ферментов и состоянием крахмала и пентозанов.

Приготовление теста из смеси ржаной и пшеничной муки сопровождается сложным комплексом биохимических, микробиологических и физико-химических процессов, влияющих на его реологические свойства. Это гидратация глиадинов и глютеинов, крахмала и пентозанов, переход в жидкую фазу теста глобулинов, альбуминов и растворимых углеводов. Хотя ржаная мука содержит эффективные

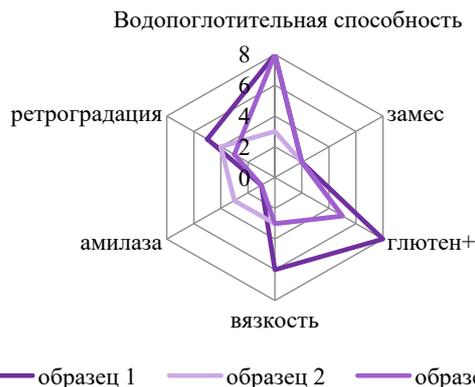


Рисунок 4. Профайлер образцов теста из экспериментальных мучных смесей

Figure 4. Profiler of experimental dough samples

фракции проламинов и глютеинов, пентозаны ржаной муки обволакивают белковые элементы клейковины, что препятствует образованию стабильного клейковинного каркаса. Пентозаны связывают воду на своей поверхности, но эта вода не встраивается в структурную решетку. Как следствие, ржаное тесто отличается клейкой и слизистой консистенцией и отсутствием клейковинного каркаса, а время образования теста из смеси ржаной и пшеничной муки меньше, чем время образования пшеничного теста.

Помимо исходного состояния углеводно-амилазного и белково-протеиназного комплексов муки, на свойства теста оказывает влияние химический состав вносимых ингредиентов – продуктов переработки облепихи. Введение в состав мучных смесей облепихового шрота и экстракта привело к снижению значений водопоглотительной способности. Одно из принципиально важных технологических отличий облепихового шрота заключается в том, что часть углеводов представлена нерастворимыми в воде высокомолекулярными полисахаридами (клетчаткой), гемицеллюлозами, лигнином и пектиновыми веществами, способными хорошо удерживать воду. Пектиновые вещества облепихи представляют собой смесь линейных и разветвленных полимеров (преимущественно высокомолекулярных), α -D-галактуронана и других полисахаридов, в макромолекулы которых входят остатки галактуроновой кислоты и нейтральные сахара. По степени этерификации облепиховый пектин относится к низкоэтерифицированным и имеет высокую молекулярную массу, а также отличается высоким содержанием ацетильных групп. Это обуславливает его пониженную желирующую способность [9]. Можно предположить, что на этапе замеса теста из смеси ржаной и пшеничной муки главную роль играет снижение способности белковых веществ муки к набуханию при повышении активной кислотности

среды, вызванной внесением облепихового экстракта и шрота. Вышесказанное определяет снижение водопоглотительной способности мучных смесей при добавлении облепихового шрота (с 65,2 до 61,4 %), а внесение экстракта, в составе которого практически отсутствуют белковые вещества и пищевые волокна, обуславливает еще большее снижение водопоглотительной способности (до 56,5 %).

Для теста из ржаной муки или из смеси ржаной и пшеничной муки характерными особенностями являются короткое время образования теста и быстрое его разжижение. Невысокая стабильность такого теста связана с быстрым набуханием гидрофильных белков и особенностями свойств крахмала ржаной муки. Добавление облепихового шрота в мучные смеси сопровождается увеличением времени образования теста (с 2,43 до 3,15 мин), еще более выраженное увеличение (до 3,67 мин) наблюдается при внесении экстракта. Высокая кислотность этих ингредиентов (4,9 и 3,0 % в пересчете на яблочную кислоту для экстракта и шрота соответственно) способствует более длительному набуханию белковых веществ и пищевых волокон, а также тормозит на этом этапе действие активной α -амилазы.

При внесении облепихового шрота и экстракта происходит увеличение времени стабильности теста, особенно для образца со шротом (до 5,17 мин), по сравнению с контролем. Значение индекса «Замес» (индекс = 2) для всех образцов теста является свидетельством невысокой стабильности, характерной для теста с преобладанием ржаной муки.

Индекс «Глютен+» отражает состояние структуры белковых веществ при нагревании теста в температурном интервале 30–60 °С в течение II фазы, во время которой происходит набухание крахмальных гранул и начинается денатурация белков. Тесто из смеси ржаной и пшеничной муки обладает структурно-механическими свойствами с преобладанием высокой вязкости, пластичности и низкой упругости. Это обусловлено соотношением и состоянием жидкой фазы теста, представленной вязким коллоидным раствором, в которой находятся пептизированные пентозаны и белки, декстрины и другие растворимые вещества, и твердой фазы теста, состоящей из ограниченно набухших зерен крахмала, белковых веществ и частиц оболочек.

Высокое содержание в ржаной муке пентозанов, вступающих во взаимодействие с белковыми веществами, приводит к образованию белково-углеводных комплексов, отличающихся по своим свойствам от исходных белков. Высокие значения индекса «Глютен+» для исследуемых проб свидетельствуют об эластичности теста, что для теста из смеси ржаной и пшеничной муки является отрицательным фактором, т. к. это будет препятствовать поднятию теста во время выпечки. Наиболее высоким значением индекса «Глютен+» отличался контрольный образец

(индекс = 8), что подтверждает необходимость использования заквасок в технологии исследуемого теста. Внесение в рецептуру облепихового шрота и сухого экстракта, имеющих высокую кислотность, позволило снизить этот индекс до 5 за счет пептизации белковых веществ мучных смесей.

Во время III фазы анализа («Клейстеризация крахмала») температура теста возрастает с 60 до 90 °С. Такой температурный режим характеризует изменения структуры крахмала и амилолитическую активность. В исследуемом интервале температур активность амилолитических ферментов максимальна, идет активный амилолиз крахмала с образованием низкомолекулярных декстринов, разжижающих тесто и снижающих вязкость полуфабрикатов. Пики на миксолабограммах рисунков 2 и 3, наблюдаемые при введении облепихового шрота и экстракта, более низкие и сглаженные, а также появляются позднее, чем у контрольного образца (рис. 1). Это свидетельствует о менее интенсивном процессе разжижения теста. Наиболее выражены отмеченные изменения в варианте теста с добавлением облепихового экстракта.

Как известно, при созревании и выпечке теста из смеси ржаной и пшеничной муки основным фактором, позволяющим регулировать технологические свойства теста и обеспечивать необходимые потребительские свойства хлеба, является кислотность вводимых заквасок (подавляющих избыточную активность амилолитических ферментов ржаной муки). В составе теста из экспериментальных мучных смесей такую функцию частично выполняют органические кислоты продуктов переработки облепихи. Анализ значений индексов «Вязкость» с учетом индексов «Глютен+» и «Амилолитическая активность» показывает, что тесто обладает высокой вязкостью, которая зависит от активности амилолитических ферментов, свойств и состояния крахмала и пентозанов и наличия периферийных частиц зерна, а также от присутствия в тесте ингредиентов, имеющих кислую реакцию. Подтверждением сказанному служит наибольшее значение индекса «Вязкость», отмеченное у контрольного образца (индекс = 6), в то время как у проб теста с добавлением облепихового шрота и сухого облепихового экстракта этот индекс снижается до 3.

Значения крутящего момента и расчетные данные скоростей биохимических реакций (табл. 2 и 3) показывают, что наибольшие скорости амилолиза γ и реакции разжижения α характерны для контрольного образца теста ($\gamma = -0,122 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$; $\alpha = -0,40 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$). Это свидетельствует о быстром разжижении теста при нагреве и является признаком высокой активности амилолитических ферментов при отсутствии подкислителей в составе теста или недостаточной их дозировке. Значения крутящего момента на 2 и 3 фазах (точки С2 и С3) снижаются у образцов 2 и 3 по сравнению с образцом 1 (контроль).

Таблица 5. Технологические режимы приготовления теста

Table 5. Technological modes of dough processing

Наименование показателя процесса	Значение показателя		
	Образец 1 (контроль)	Образец 2	Образец 3
Температура теста, °С	28–29	28–29	28–29
Влажность теста, %	49,0	48,5	48,5
Кислотность теста начальная, град.	4,0	4,5	4,0
Продолжительность брожения, мин	90	80	80
Кислотность теста конечная, град.	7,5	7,5	8,0

Скорость реакции клейстеризации крахмала β , характеризующая процесс набухания крахмальных гранул и стабильность крахмального клейстера, при добавлении облепихового экстракта возрастает менее значительно ($\beta = 0,448 \text{ Н}\cdot\text{м/мин}$), чем при добавлении облепихового шрота ($\beta = 0,600 \text{ Н}\cdot\text{м/мин}$), а увеличение значений крутящего момента до 0,93 и 1,24 Н·м соответственно позволяет прогнозировать повышение устойчивости к черствению образцов хлеба с добавлением продуктов переработки облепихи.

Индекс «Ретроградация крахмала», характеризующий изменение углеводно-амилазного комплекса при снижении температуры с 90 до 50 °С, показывает возможные изменения гидрофильных свойств мякиша при хранении, связанные с синерезисом крахмала, клейстеризованным в процессе выпечки. В проведенной серии исследований значение этого показателя снижается при добавлении облепихового шрота и сухого облепихового экстракта, что свидетельствует о замедлении процесса кристаллизации биополимеров муки (крахмала и белковых веществ) и лучшем сохранении свежести мякиша хлеба.

Результаты проведенных исследований согласуются с опубликованными ранее данными о том, что добавление продуктов переработки облепихи меняет свойства теста, и их использование в производстве массовых сортов хлеба может привести к необходимости подбора специальных технологических режимов приготовления теста, расстойки и выпечки хлеба [3, 26]. В этой связи на следующем этапе исследования был осуществлен подбор технологических режимов приготовления теста (табл. 5).

В качестве базовой рецептуры использовали унифицированную рецептуру хлеба «Дарницкий» из смеси ржаной и пшеничной муки (соотношение 60:40). Тесто для контрольного образца готовили на жидкой ржаной закваске (дозировка 30 %). Продукты переработки плодов облепихи – шрот и сухой экстракт – характеризуются высоким содержанием органических кислот. В результате этого при их содержании в тесте в дозировке 7,5 % начальная кислотность теста возрастала. Это создавало благоприятные условия для мгновенно разви-

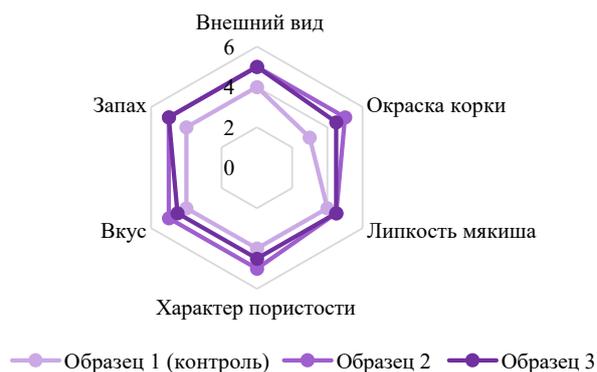


Рисунок 5. Профилограмма хлеба из экспериментальных мучных смесей

Figure 5. Profilogram of bread from experimental flour mixes

вающегося активного молочнокислого брожения, накопления вкусовых и ароматических компонентов и быстрого достижения необходимой конечной кислотности теста. Резкое повышение начальной кислотности теста тормозило действие активной α -амилазы и процесс декстринообразования, благодаря чему стабилизировало физические свойства теста и обеспечивало снижение температуры инактивации α -амилазы. Все эти факторы позволили сократить расход жидкой ржаной закваски до 15 % при замесе теста для проб с добавлением облепихового шрота и сухого облепихового экстракта.

Начальная кислотность образцов теста с добавлением продуктов переработки облепихи составляла 4,0–4,5 град., процесс брожения шел интенсивно. Активное молочнокислое и спиртовое брожение сопровождалось накоплением органических кислот и углекислого газа, обеспечивающих выраженный вкус и аромат хлеба, структуру пористости. Стимулирующее действие продуктов облепихи при сниженной дозировке жидкой ржаной закваски подтверждается достижением конечной кислотности 7,5–8,0 град. через 80 мин брожения, что на 10 мин меньше, чем в варианте с контрольным образцом.

Результаты органолептической оценки выпеченных образцов (рис. 5) подтверждают возможность использования облепихового шрота и сухого экст-

ракта облепихи в качестве технологических добавок-подкислителей при условии снижения дозировки жидкой ржаной закваски. Выпеченные образцы отличались правильной формой и коричневой корочкой, имели достаточно разрыхленный, сухой на ощупь и не заминающийся мякиш. Отличительной особенностью образцов с добавлением продуктов переработки облепихи было наличие выраженного оранжево-коричневого цвета мякиша, приятного облепихового привкуса и аромата, что работает на повышение потребительских качеств изделий.

Выводы

Исследование реологических характеристик теста из смеси ржаной и пшеничной муки с добавлением облепихового шрота и сухого облепихового экстракта свидетельствует о снижении водопоглотительной способности, по сравнению с контрольным образцом теста, за счет более низкой способности, чем у белков муки, поглощать воду пищевыми волокнами облепихового шрота и практически отсутствия пищевых волокон в экстракте. Время образования и стабильность теста при введении продуктов переработки облепихи возрастают незначительно.

Максимальная вязкость теста контрольного образца и ее снижение при внесении продуктов переработки облепихи подтверждают необходимость использования ржаных заквасок либо других подкислителей в технологии приготовления теста из смеси ржаной и пшеничной муки. Тесто из экспериментальной смеси ржаной и пшеничной муки с продуктами переработки плодов облепихи обладает высокой вязкостью, зависящей не только от активности амилолитических ферментов и био-

химического состава муки, но и от присутствия в тесте ингредиентов с кислой реакцией – облепихового шрота и экстракта. Выявлены низкая стабильность крахмального клейстера экспериментальных мучных смесей и положительное влияние продуктов переработки облепихи на процессы кристаллизации крахмала. Это предполагает снижение эффекта ретроградации крахмала при хранении хлеба.

На основании результатов исследования реологических свойств мучных смесей с добавлением облепихового шрота и сухого облепихового экстракта и качественных характеристик теста установлена возможность сокращения дозировки жидкой ржаной закваски до 15 % и продолжительности брожения теста до достижения кислотности 7,5–8,0 град.

Критерии авторства

Исследование было задумано, реализовано, проанализировано и описано авторами коллективно. Рукопись вычитана и принята в представленной версии как окончательная всеми авторами.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

The study was conceived, implemented, analyzed, and described by the authors collectively. All the authors read and accepted the final manuscript.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Nikulina EO, Ivanova GV, Kolman OYa. Sea-buckthorn meal as the functional ingredient for the creation of the functional purpose products. Bulletin of KSAU. 2015;109(10):98–105. (In Russ.). [Никулина Е. О., Иванова Г. В, Кольман О. Я. Облепиховый шрот как функциональный ингредиент для создания продуктов функционального назначения // Вестник КрасГАУ. 2015. Т. 109. № 10. С. 98–105.]. <https://www.elibrary.ru/ULXCWV>
2. Nilova LP. Antioxidant properties of bakery products with fruit and berry powders. Bread Products. 2018;(11):48–50. (In Russ.). [Нилова Л. П. Антиоксидантные свойства хлебобулочных изделий с плодово-ягодными порошками // Хлебпродукты. 2018. № 11. С. 48–50.]. <https://www.elibrary.ru/SIUGIT>
3. Kuzmina SS, Kozubaeva LA, Egorova EYu, Kulushtayeva BM, Smolnikova FK. Effect of berry extracts on *Saccharomyces cerevisiae* yeast. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(4):819–831. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-819-831>
4. Eremeeva NB, Makarova NV, Zhidkova EM, Maximova VP, Lesova EA. Ultrasonic and microwave activation of raspberry extract: antioxidant and anti-carcinogenic properties. Foods and Raw Materials. 2019;7(2):264–273. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-264-273>
5. Makarova NV, Eremeeva NB. The influence of extraction technology on the antioxidant activity of extracts of fruits of cranberry, sea buckthorn, blackberry, honeystone, kalina, rowan, and junior. Innovations and Food Safety. 2019;25(3):91–99. (In Russ.). <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2019-25-3-91-99>
6. Dienaite L, Baranauskienė R, Venskutonis PR. Lipophilic extracts isolated from European cranberry bush (*Viburnum opulus*) and sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) berry pomace by supercritical CO₂ – Promising bioactive ingredients for foods and nutraceuticals. Food Chemistry. 2021;348. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129047>

7. Kukina TP, Shcherbakov DN, Gensh KV, Tulysheva EA, Salmikova OI, Grazhdannikov AE, *et al.* Bioactive components of sea buckthorn *Hippophae rhamnoides* L. Foliage. Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2017;43(7):747–751. <https://doi.org/10.1134/S1068162017070093>
8. Trineeva OV, Rudaya MA, Slivkin AI. The study of the carotenoid composition of the fruits of sea buckthorn different varieties by thin layer chromatography. Chemistry of Plant Raw Material. 2020;(1):223–228. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020016345>
9. Farzaliyev EBO, Golubev VN, Tsyganova TB. Research and identification of pectin substances of wild fruits of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). Storage and Processing of Farm Products. 2021;(3):115–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.247>.
10. Trineeva OV, Slivkin AI. Calcium definition in fruits of *Hippophaes rhamnoides* L. Chemistry of Plant Raw Material. 2015;(1):101–106. (In Russ.). [Тринеева О. В., Сливкин А. И. Определение кальция в плодах облепихи крушиновидной (*Hippophaes rhamnoides* L.) // Химия растительного сырья. 2015. № 1. С. 101–106.]. <https://elibrary.ru/UILSRP>
11. Olas B, Skalski B, Ulanowska K. The anticancer activity of sea buckthorn [*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson]. Frontiers in Pharmacology. 2018;9. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00232>
12. Dong K, Fernando WMADB, Durham R, Stockmann R, Jayasena V. Nutritional value, health-promoting benefits and food application of sea buckthorn. Food Reviews International. 2021. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1943429>
13. Gani A, Jan R, Ashwar BA, Ashraf Z, Shah A, Gani A. Encapsulation of saffron and sea buckthorn bioactives: Its utilization for development of low glycemic baked product for growing diabetic population of the world. LWT. 2021;142. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111035>
14. Gätlan A-M, Gutt G. Sea buckthorn in plant based diets. An analytical approach of sea buckthorn fruits composition: Nutritional value, applications, and health benefits. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021;18(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph18178986>
15. Roman D, Condurache NN, Aprodu I, Enachi E, Barbu V, Bahrim GE, *et al.* Insights of sea buckthorn extract's encapsulation by coacervation technique. Inventions. 2021;6(3). <https://doi.org/10.3390/inventions6030059>
16. Wang K, Xu Z, Liao X. Bioactive compounds, health benefits and functional food products of sea buckthorn: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021;62(24):6761–6782. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1905605>
17. Kallio H, Yang B, Peippo P. Effects of different origins and harvesting time on vitamin C, tocopherols, and tocotrienols in sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides*) berries. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002;50(21):6136–6142. <https://doi.org/10.1021/jf020421v>
18. Lele V, Monstavičiute E, Varinauskaitė I, Peckaityte G, Paskeviciute L, Plytnikaite M, *et al.* Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) and quince (*Cydonia oblonga* L.) juices and their by-products as ingredients showing antimicrobial and antioxidant properties for chewing candy: Nutraceutical formulations. Journal of Food Quality. 2018;2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3474202>
19. Tereshchuk LV, Starovoytova KV, Ivanova SA, Sergeeva IYu. Obtaining functional products from sea buckthorn berries. Advances in Social Science, Education and Humanities Research. 2019;298:407–411. <https://doi.org/10.2991/essd-19.2019.90>
20. Vilas-Franquesa A, Saldo J, Juan B. Potential of sea buckthorn-based ingredients for the food and feed industry – a review. Food Production, Processing and Nutrition. 2020;2. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-00032-y>
21. Rybicka I, Kiewlicz J, Kowalczewski PŁ, Gliszczyńska-Świągło A. Selected dried fruits as a source of nutrients. European Food Research and Technology. 2021;247:2409–2419. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03802-1>
22. Averyanova EV. Biological value of sea buckthorn as a basis for its complex non-waste processing. Modern Science and Innovations. 2018;23(3):104–111. (In Russ.). [Аверьянова Е. В. Биологическая ценность облепихи как основа ее комплексной безотходной переработки // Современная наука и инновации. 2018. Т. 23. № 3. С. 104–111.]. <https://elibrary.ru/VUTIVX>
23. Negi PS, Chauhan AS, Sadia GA, Rohinishree YS, Ramteke RS. Antioxidant and antibacterial activities of various seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seed extracts. Food Chemistry. 2005;92(1):119–124. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.009>
24. Lapteva N, Kazenina V, Petrova A. Determination of biologically active substances in supercritical carbon dioxide sea buckthorn extract. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;640. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022079>
25. 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.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-85-96>

26. Koneva SI, Melyoshkina LE. The influence of sea buckthorn meal on the carbohydrate-amylase complex of the dough and quality indicators of the bread made from the mixture of rye and wheat flour. *Bulletin of KSAU*. 2020;164(11):190–196. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-11-190-196>
27. Callejo MJ, Bujeda C, Rodríguez G, Chaya C. Alveoconsistograph evaluation of rheological properties of rye doughs. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2009;7(3):638–644. <https://doi.org/10.5424/sjar/2009073-448>
28. Boltenko YuA. Rheological criteria for controlling the properties of wheat dough and the quality of bakery products. Cand. eng. sci. diss. Moscow: Moscow State University of Food Production; 2010. 177 p. (In Russ.). [Болтенко Ю. А. Разработка реологических критериев управления свойствами пшеничного теста и качеством хлебобулочных изделий: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01. М., 2010. 177 с.].
29. Hřivna L, Zigmundová V, Burešová I, Maco R, Vyhnánek T, Trojan V. Rheological properties of dough and baking quality of products using coloured wheat. *Plant, Soil and Environment*. 2018;64(5):203–208. <https://doi.org/10.17221/62/2018-PSE>
30. Kulevatova TB, Adreeva LV, Tugush AR, Sadygova MK. Features of rheological properties of rye dough flour and mixtures based on it. *Storage and Processing of Farm Products*. 2019;(4):118–128. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.185>
31. Naumenko N, Potoroko I, Kalinina I, Fatkullin R, Ivanisova E. The influence of the use of whole grain flour from sprouted wheat grain on the rheological and microstructural properties of dough and bread. *International Journal of Food Science*. 2021;2021. <https://doi.org/10.1155/2021/7548759>