

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2439>
<https://elibrary.ru/WVUMRP>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Влияние комплексной добавки на хлебопекарные свойства муки и теста при брожении



А. В. Маслов*^{ORCID}, З. Ш. Мингалеева^{ORCID},
Т. А. Ямашев^{ORCID}, О. В. Старовойтова^{ORCID}

Казанский национальный исследовательский технологический университет^{ORCID}, Казань, Россия

Поступила в редакцию: 29.11.2022
Принята после рецензирования: 26.12.2022
Принята к публикации: 10.01.2023

*А. В. Маслов: maslov-aleksandr95@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5841-0705>
З. Ш. Мингалеева: <https://orcid.org/0000-0003-3076-9104>
Т. А. Ямашев: <https://orcid.org/0000-0002-4758-7924>
О. В. Старовойтова: <https://orcid.org/0000-0003-0790-4582>

© А. В. Маслов, З. Ш. Мингалеева, Т. А. Ямашев,
О. В. Старовойтова, 2023



Аннотация.

В хлебопекарной промышленности для обеспечения сбалансированности состава готовых изделий используется растительное сырье повышенной пищевой ценности, которое влияет на свойства муки и тестовых полуфабрикатов. Цель исследования заключалась в изучении влияния пищевой комплексной добавки на основе композиции растительных компонентов на амилитическую активность и газообразующую способность муки пшеничной, динамику поднятия и газодерживающую способность теста в процессе брожения.

Объектами исследования являлись мука пшеничная высшего сорта, водно-мучная суспензия и пшеничное тесто с пищевой комплексной добавкой (в концентрациях 10, 16 и 22 % к массе готовых мучных смесей). Пищевая комплексная добавка представляет собой смесь муки пшеничной обойной и измельченной пророщенной спельты, а также порошков семян тыквы, плодовых тел грибов вешенки и ягод крыжовника при соотношении 56,3:25,0:17,2:0,9:0,6 соответственно. Вязкость водно-мучной суспензии исследовали при нагревании с применением амилографа-Е, число падения определяли на приборе ИЧП-1-2, газообразующую способность муки, динамику поднятия и газодерживающую способность теста – на реоферментометре F4.

Установлено, что при внесении пищевой комплексной добавки повышается ферментативная активность муки, увеличивается высота подъема теста в среднем на 8,4 мм и сокращается продолжительность брожения до достижения максимальной высоты подъема в среднем на 17,8 % по сравнению с контролем. Выявили увеличение общего объема и объемов потерянного и удержанного углекислого газа в среднем на 35,8, 99,7 и 26,9 % соответственно по сравнению с контролем. Оптимальная концентрация пищевой комплексной добавки совместно с пшеничной мукой высшего сорта составляет 16 %. В этом случае отметили максимальные высоты подъема теста и время начала потери тестом углекислого газа. Для получения готовых изделий высокого качества при данной дозировке пищевой добавки общее время брожения теста и расстойки тестовых заготовок следует сократить на 17,8 % по сравнению с тестовыми полуфабрикатами без добавки.

Полученные результаты могут быть использованы в производстве обогащенных хлебобулочных изделий из пшеничной муки высшего сорта с внесением пищевой комплексной добавки на основе растительных компонентов. Необходимо определять продолжительность созревания теста и сокращать общее время брожения и расстойки тестовых заготовок в зависимости от дозировки добавки. Целесообразно продолжить исследования в направлении изучения влияния пищевой комплексной добавки на структурно-механические свойства тестовых полуфабрикатов в процессе созревания.

Ключевые слова. Хлебобулочные изделия, тесто, растительное сырье, обогащение, качество, газообразование, газодерживающая способность, амилитическая активность, амилограмма

Финансирование. Работа выполнена на базе учебно-исследовательской лаборатории «Оценка качества продовольственного сырья и пищевой продукции» Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ)^{ORCID}.

Для цитирования: Влияние комплексной добавки на хлебопекарные свойства муки и теста при брожении / А. В. Маслов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 347–356. (На англ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2439>

Effects of a Plant-Based Additive on the Properties of Flour and Dough during Fermentation



Alexander V. Maslov*^{ORCID}, Zamira Sh. Mingaleeva^{ORCID},
Timur A. Yamashev^{ORCID}, Oksana V. Starovoitova^{ORCID}

Kazan National Research Technological University^{ORCID}, Kazan, Russia

Received: 29.11.2022
Revised: 26.12.2022
Accepted: 10.01.2023

*Alexander V. Maslov: maslov-aleksandr95@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5841-0705>
Zamira Sh. Mingaleeva: <https://orcid.org/0000-0003-3076-9104>
Timur A. Yamashev: <https://orcid.org/0000-0002-4758-7924>
Oksana V. Starovoitova: <https://orcid.org/0000-0003-0790-4582>

© A.V. Maslov, Z.Sh. Mingaleeva, T.A. Yamashev, O.V. Starovoitova, 2023



Abstract.

To ensure a balanced diet, bakers use plant-based raw materials with a high nutritional value which affect the properties of flour and dough. We aimed to study the effects of a complex additive based on plant components on wheat flour's amylolytic activity and gas-forming ability, as well as on the dough's rise and gas-retaining ability during fermentation.

Our study objects included premium wheat flour, a water-flour suspension, and wheat dough with a complex additive (at concentrations of 10, 16, and 22% by weight of flour mixtures). The additive contained whole wheat flour, crushed sprouted spelt, powdered pumpkin seeds, oyster mushrooms, and gooseberries at a ratio of 56.3:25.0:17.2:0.9:0.6, respectively. An amylograph-E was used to study the viscosity of the water-flour suspension during heating, an ICHP-1-2 apparatus measured the falling number, and an F4 rheofermentometer assessed the flour's gas-forming ability and the dough's rise and gas-retaining ability.

The complex additive improved the enzymatic activity of the flour, increased the dough rise by an average of 8.4 mm, and reduced the fermentation time needed to reach the maximum height by an average of 17.8%, compared to the control. The total volume of carbon dioxide, as well as the volumes of lost and retained carbon dioxide, increased by an average of 35.8, 99.7, and 26.9%, respectively, compared to the control. The optimal concentration of the complex additive introduced into premium wheat flour was 16%, at which the dough rose to its maximum height and had the longest porosity time. To obtain high-quality products with this concentration of the additive, the total time of dough fermentation and proofing should be reduced by 17.8% compared to the unfortified dough.

The results can be used in the production of bakery products from premium wheat flour fortified with the complex additive based on plant components. During the process, it is important to determine the duration of dough maturation and reduce the total time of dough fermentation and proofing depending on the concentration of the additive. Further research is needed to study the effect of the complex additive on the structural and mechanical properties of dough during its development.

Keywords. Bakery products, dough, plant raw materials, fortification, quality, gas formation, gas-retaining ability, amylolytic activity, amylogram

Funding. The study was carried out at the educational and research laboratory "Quality Assessment for Foods and Raw Materials", Kazan National Research Technological University (KNRTU)^{ORCID}

For citation: Maslov AV, Mingaleeva ZSh, Yamashev TA, Starovoitova OV. Effects of a Plant-Based Additive on the Properties of Flour and Dough during Fermentation. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):347–356. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2439>

Введение

Обеспечение здоровья населения является важной стратегической задачей государства, решение которой связано с созданием условий для сбалансированного питания граждан. Распространение неинфекционных алиментарно-зависимых заболева-

ний приводит к потерям трудоспособности населения и снижению продолжительности жизни [1, 2]. Мониторинг удовлетворенности потребности различных групп детского и взрослого населения в пищевых веществах и энергии показывает, что структура потребления в Российской Федерации

не соответствует принципам здорового питания: повышенная калорийность рациона, избыточное потребление жиров и дефицит белков, витаминов, макро- и микроэлементов, клетчатки [3, 4].

В связи с эти актуальными являются исследования, направленные на снижение недостатка нутритив в продуктах питания путем обогащения ингредиентами повышенной пищевой ценности [5–9]. Обеспечение требуемой сбалансированности рациона предполагает обогащение таких продуктов питания массового потребления, как хлебобулочные изделия, ежедневно присутствующих в рационе и доступных различным слоям населения [10].

Для повышения пищевой ценности продукции и придания ей функциональных свойств в хлебопекарной промышленности используется нетрадиционное растительное сырье [11–15]. С точки зрения химического состава и технологических свойств перспективным нетрадиционным сырьем являются пророщенная спельта, семена тыквы, грибы вешенки и ягоды крыжовника, а также их композиции. В предыдущих исследованиях нами было установлено оптимальное соотношение указанных растительных ингредиентов в составе пищевой комплексной добавки и ее влияние на реологические свойства пшеничного теста в процессе замеса [16, 17].

Важными технологическими этапами производства хлебобулочных изделий являются брожение полуфабрикатов и расстойка тестовых заготовок. Цель данных этапов – разрыхление теста и накопление соединений, участвующих в процессе выпечки в формировании вкуса и аромата готового хлеба. Разрыхление теста в процессе брожения зависит от реологических свойств полуфабриката: способности теста расширяться и удерживать образующийся под действием дрожжей углекислый газ. Изменение реологических свойств теста во время брожения влияет на обрабатываемость полуфабриката при разделке, формировании и округлении тестовых заготовок, влияющих на качество готовых продуктов [18]. Кроме того, важное значение имеет газообразующая способность муки, которая определяется содержанием в муке сахаров, амилолитической активностью ферментов и степенью поврежденности крахмальных гранул [19, 20].

Обогащающие добавки изменяют хлебопекарные свойства муки и интенсивность процесса брожения тестовых полуфабрикатов. Поэтому важно оценивать данные свойства при использовании нетрадиционных ингредиентов в хлебопечении [12]. Наиболее простым способом оценки амилолитической активности муки является определение числа падения. Данный показатель позволяет сделать вывод об активности амилаз муки на основе косвенной оценки вязкости клейстеризованной мучной суспензии по скорости опускания в ней шток-мешалки [21]. Су-

ществуют специальные приборы, которые оценивают изменение вязкости в процессе клейстеризации крахмала по величине крутящего момента: амилографы и вискозиметры [22].

Разработаны несколько способов оценки реологических свойств теста в процессе брожения. Существует метод определения динамической плотности теста [23]. Для измерения объема теста при расстойке применяют прибор матурограф (Brabender) [24]. Наиболее часто используемым прибором оценки высоты теста и объема выделенного и удержанного газа в процессе брожения теста является реоферментометр (Chopin) [25, 26]. Реоферментометр используется в хлебопекарной промышленности для изучения ферментативной активности различных видов муки и активности дрожжей, а также влияния технологических добавок, ферментов или нетрадиционных ингредиентов на процесс брожения теста [25]. Кроме того, по показателям реоферментометра можно косвенно судить о качестве сложных белков клейковины [21].

Целью исследования являлось изучение влияния пищевой комплексной добавки на амилолитическую активность и газообразующую способность муки, динамику поднятия и газодерживающую способность теста в процессе брожения.

Объекты и методы исследования

В данной работе использовалось следующее сырье: мука пшеничная высшего сорта (АО «Макфа», Россия), соответствующая требованиям ГОСТ 26574-2017, и пищевая комплексная добавка, состоящая из муки пшеничной обойной (ООО «Гарнец», Россия) по ГОСТ 26574-2017, измельченной пророщенной спельты и порошков семян тыквы, плодовых тел грибов вешенки и ягод крыжовника, полученных путем сушки сырья в вибрационной сушилке-мельнице, при соотношении 56,3:25,0:17,2:0,9:0,6 соответственно [27]. Состав пищевой комплексной добавки определен нами ранее по результатам экспериментов, представленных в работе [16]. Пищевую комплексную добавку вносили в исследуемую муку в концентрациях 10, 16 и 22 % к массе готовых мучных смесей. Кроме того, при приготовлении тестовых полуфабрикатов использовали следующие ингредиенты: дрожжи прессованные хлебопекарные (ООО «Саф-Нева», Россия) по ГОСТ Р 54731-2011 и соль пищевую (АО «Аралтуз», Казахстан) по ГОСТ Р 51574-2018.

Амилолитическую активность муки оценивали по показателям вязкости водно-мучной суспензии в процессе нагревания и числу падения. Вязкость водно-мучной суспензии в процессе ее клейстеризации при нагревании исследовали с применением амилографа-Е (Brabender, Германия) по ГОСТ ISO 7973-2013. Водно-мучную смесь готовили из 80 г муки и 450 мл дистиллированной воды. Число

падения определяли методом Хагберга-Пертена на приборе ИЧП-1-2 (Долгопрудненское НПП, Россия) по ГОСТ ISO 3093-2016.

Газообразующую способность муки, динамику поднятия и газодерживающую способность теста определяли с использованием реоферментометра F4 (Chopin Technologies, Франция). Эксперименты проводили с использованием пшеничной муки высшего сорта. Тестовые полуфабрикаты замешивали 4 мин в лабораторной тестомесилке для пробной выпечки У1-ЕТВ-МТ (Мототех, Россия) по рецептурам, представленным в таблице 1. Влажность готового пшеничного теста составила 44 %.

Исследования на реоферментометре проводили согласно стандарту для измерения активности дрожжей и выработки газа ААСС 89-01 [28]. 315 г теста взвешивали и помещали в камеру брожения; на тесто сверху помещали груз массой 2000 г. Измерения проводили при 28,5 °С в течение 180 мин. В результате получили следующие параметры брожения теста:

- максимальная высота подъема теста под нагрузкой (H_m , мм);
- максимальная высота подъема теста, соответствующая максимальному объему (H'_m , мм);
- высота подъема теста в конце исследования (h , мм);
- коэффициент опадения теста ($(H_m - h) \times 100/H_m$, %);
- скорость подъема теста ($DS = (H_m^{40 \text{ мин}} - H_m^{10 \text{ мин}})/30$);
- продолжительность брожения до достижения максимальной высоты подъема (T_1 , мин);
- продолжительность брожения до достижения максимального объема (T'_1 , мин);
- время, при котором тесто начинает терять углекислый газ (T_x , мин);
- объем потерянного углекислого газа (V_1 , мл);
- объем удержанного углекислого газа (V_2 , мл);
- общий объем произведенного углекислого газа (V_{1+2} , мл);
- коэффициент газодержания ($V_1 \times 100/V_{1+2}$, %).

Статистический анализ полученных данных, получение уравнений полиномиальной регрессии второй степени и определение величины достоверной аппроксимации R^2 проводили в MS Excel, корреляционный анализ – в программе Statistica 13.

Результаты и их обсуждение

Хлебопекарные свойства пшеничной муки зависят от клестеризации крахмала и активности α -амилазы. Данные показатели можно измерить с использованием прибора амилограф-Е. Указанный прибор позволяет получить достоверную информацию о клейстеризации крахмала в процессе выпечки. Нагревание водно-мучной суспензии в приборе происходит со скоростью 1,5 °С/мин, которая соответствует скорости нагревания тестовой заготовки в печи [21]. На рисунке 1 представлены амилограммы водно-мучной суспензии из пшеничной муки высшего сорта с добавлением пищевой комплексной добавки. На рисунках 2 и 3 приведены результаты анализа представленных амилограмм.

Данные рисунка 1 демонстрируют, что внесение пищевой комплексной добавки в муку способствует увеличению температуры начала клейстеризации в среднем на 0,8 °С по сравнению с контролем. Максимальная температура начала клейстеризации установлена для водно-мучной суспензии с дозировкой пищевой комплексной добавки 22 %. Температура клейстеризации и максимальная вязкость снижались при увеличении дозировки вносимой добавки. Полученные данные объясняются действием амилолитических ферментов пророщенной спельты, входящей в состав пищевой комплексной добавки. Изменение указанных свойств при увеличении концентрации добавки соответствовало уравнениям полинома второй степени, что подтверждается величинами достоверной аппроксимации R^2 (рис. 2).

На рисунке 3 показаны данные по влиянию пищевой комплексной добавки на число падения пшеничной муки высшего сорта и время до достижения максимальной вязкости водно-мучной суспензии при нагревании.

Установлено, что при увеличении концентрации пищевой комплексной добавки происходило уменьшение числа падения и времени до достижения максимальной вязкости водно-мучной суспензии при нагревании. Корреляционный анализ данных показал, что существует достоверная зависимость между числом падения (рис. 3) и показаниями прибора амилограф-Е (рис. 2 и 3): температурой

Таблица 1. Рецептуры тестовых полуфабрикатов из пшеничной муки высшего сорта

Table 1. Formulations for dough samples from premium wheat flour

Наименование сырья, г	Контроль	Концентрация пищевой комплексной добавки к массе мучной смеси, %		
		10	16	22
Мука пшеничная высшего сорта	100	90	84	78
Пищевая комплексная добавка	0	10	16	22
Дрожжи прессованные	2,8	2,8	2,8	2,8
Соль пищевая	2	2	2	2
Вода	По расчету	По расчету	По расчету	По расчету

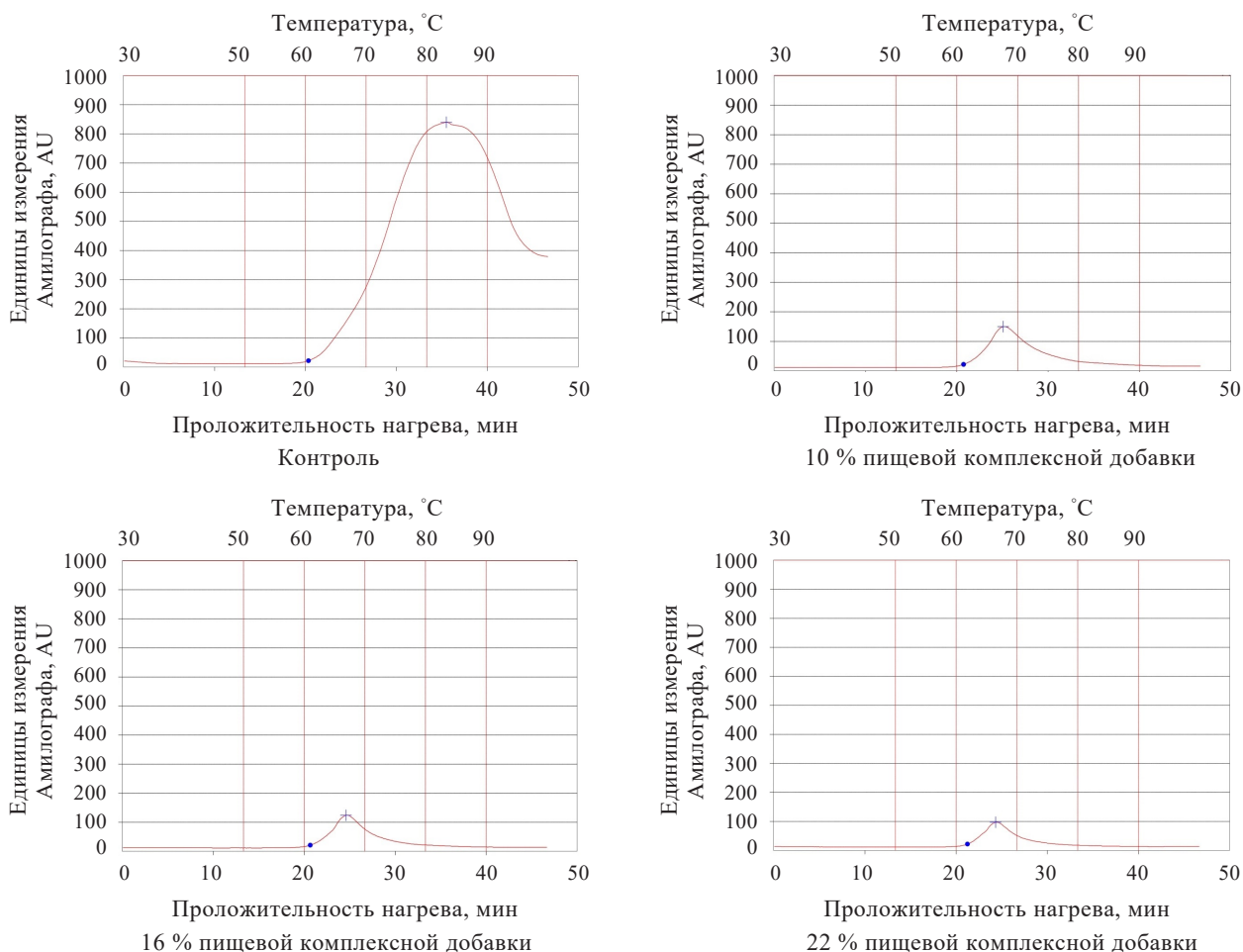


Рисунок 1. Амилограммы водно-мучной суспензии из смеси муки пшеничной высшего сорта и пищевой комплексной добавки

Figure 1. Amylograms of a water-flour suspension from premium wheat flour and the complex additive

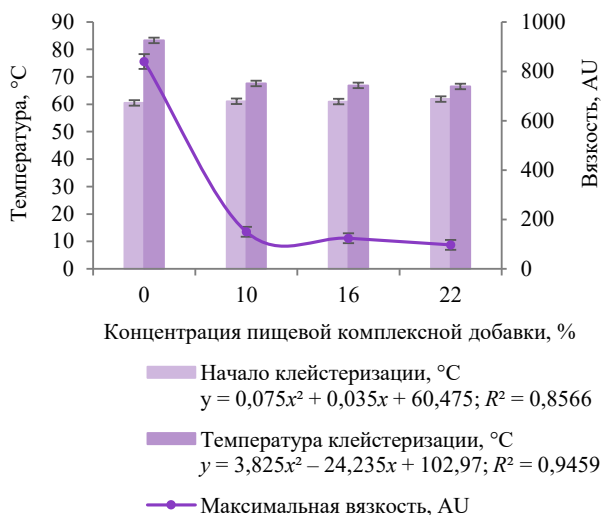


Рисунок 2. Влияние пищевой комплексной добавки на показатели клейстеризации водно-мучной суспензии

Figure 2. The effect of the complex additive on the gelatinization of a water-flour suspension

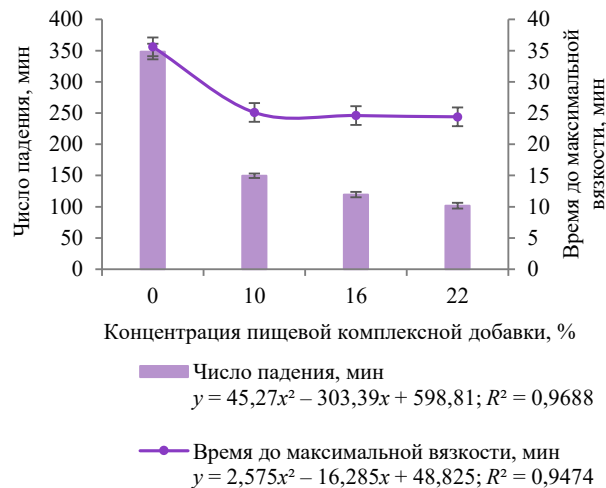


Рисунок 3. Влияние пищевой комплексной добавки на число падения и время до достижения максимальной вязкости водно-мучной суспензии при нагревании

Figure 3. The effect of the complex additive on the falling number of premium wheat flour and the time of reaching maximum viscosity during heating

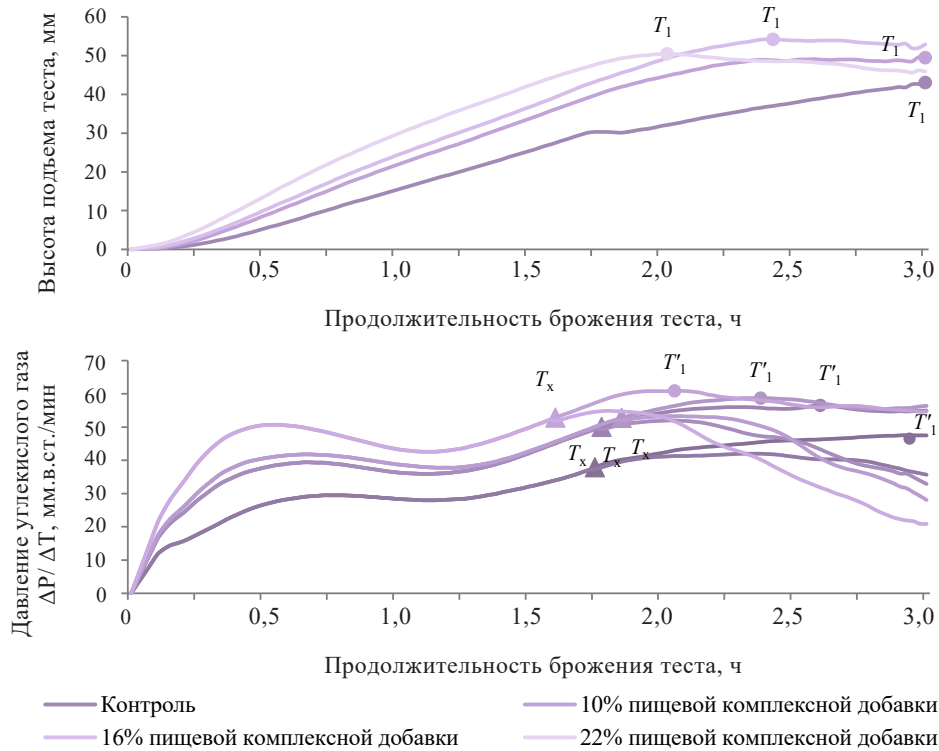


Рисунок 4. Влияние пищевой комплексной добавки на газообразующую способность пшеничной муки высшего сорта, динамику поднятия и газодерживающую способность пшеничного теста

Figure 4. Effects of the complex additive on gas production, dough rise, and gas-retaining ability during fermentation

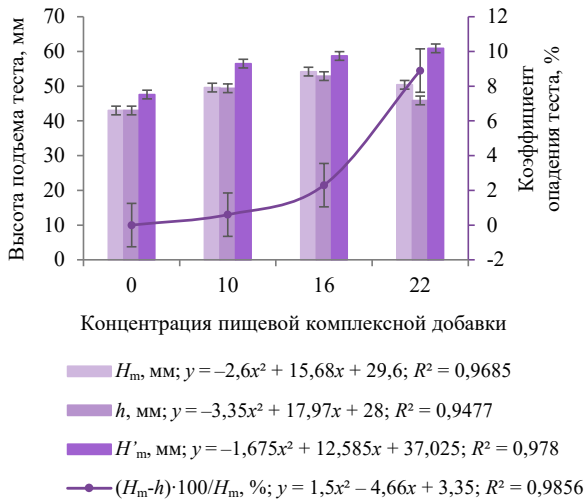


Рисунок 5. Влияние пищевой комплексной добавки на динамику поднятия пшеничного теста

Figure 5. The effect of the complex additive on the wheat dough development

клейстеризации ($r = 0,99, p = 0,007$), максимальной вязкостью ($r = 0,99, p = 0,007$) и временем до достижения максимальной вязкости ($r = 0,99, p = 0,007$). Проведенный анализ доказывает достоверность данных, полученных с использованием амилографа-Е.

Полученные данные говорят об увеличении ферментативной активности пшеничной муки при внесении пищевой комплексной добавки. Ферментативная активность муки имеет важное значение в процессе брожения тестовых полуфабрикатов. Повышение данного показателя способствует сокращению этапов брожения теста и расстойки тестовых заготовок.

Результаты исследования влияния пищевой комплексной добавки на газообразующую способность муки, динамику поднятия и газодерживающую способность теста в процессе брожения представлены на рисунках 4–8.

Графики подъема теста (рис. 4) показывают, что в начале брожения высота теста быстро увеличивается благодаря способности теста удерживать весь выделяемый дрожжами газ. По мере продолжения процесса брожения высота теста увеличивается медленнее, пока не достигает максимума, после которого тесто больше не поднимается в высоту. В процессе брожения в тесте продолжается образование газа, но сохраняется только одна его часть, в то время как другая теряется. Вследствие увеличения объема пор, образуемых в тесте в результате удержания газа, при повышении давления стенки пор разрушаются, и часть ранее удерживаемых газов высвобождается. В результате высота теста уменьшается [19].

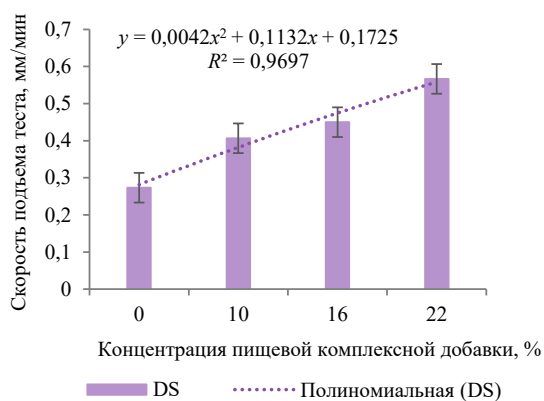


Рисунок 6. Влияние пищевой комплексной добавки на скорость подъема пшеничного теста

Figure 6. The effect of the complex additive on the dough rise rate

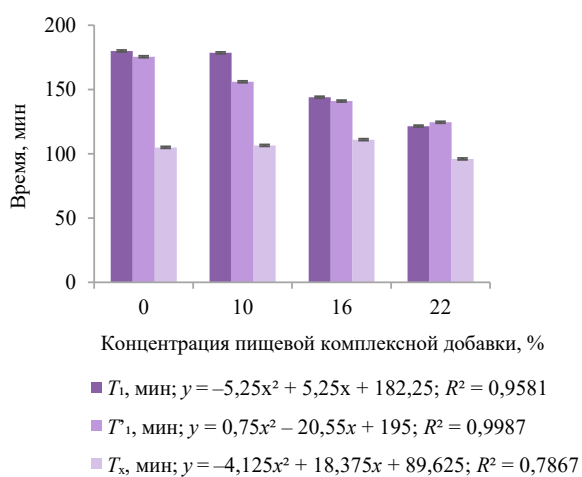


Рисунок 7. Влияние пищевой комплексной добавки на продолжительность брожения пшеничного теста

Figure 7. The effect of the complex additive on the wheat dough fermentation time

Максимальная высота поднятия теста под нагрузкой (H_m , мм) зависит от свойств клейковинного каркаса и реологических свойств теста, а также коррелирует с объемом готового хлеба. Показатель H_m характеризует газообразующую способность муки и общую структуру матрикса, сформированного в исследуемой системе. Более высокое значение H_m означает, что комбинация образующегося газа и структуры матрикса данной системы более благоприятна для поддержания объема тестовой заготовки по сравнению с другой системой с более низким H_m . Чем большее количество газа удерживается в тесте, тем выше конечный объем готовых хлебобулочных изделий [20].

Анализ рисунков 4 и 5 показывает, что внесение пищевой комплексной добавки в пшеничную муку высшего сорта способствовало увеличению высоты

подъема теста опытных образцов, по сравнению с контролем, на 6,6–11,2 мм. Наибольшая высота подъема теста соответствовала концентрации пищевой комплексной добавки 16 % – на 26,0 % выше по сравнению с контрольным образцом. Следует отметить, что контрольный образец достиг максимума высоты теста лишь в конце времени испытания (3 ч), в то время как опытный образец с пищевой комплексной добавкой с концентрацией 16 % – на 36 мин быстрее контрольного. Раньше всех среди исследуемых образцов достиг максимума подъема образец с дозировкой пищевой комплексной добавки 22 % – на 58,5 мин быстрее контрольного.

Данные рисунка 5 показывают, что максимальная высота подъема пшеничного теста, соответствующая максимальному объему при увеличении концентрации пищевой комплексной добавки, возрастает в среднем на 23,3 % по сравнению с контролем. Продолжительность брожения, требуемая до достижения максимального объема, снижается в среднем на 34,5 мин по сравнению с пшеничным тестом без добавки.

Графики высвобождения газа для пшеничной муки высшего сорта (рис. 4) демонстрируют по два пика увеличения количества газа. Первый пик характерен для газа, выделенного дрожжами при сбраживании собственных сахаров мучной смеси, второй – при сбраживании мальтозы. Опытные образцы быстрее контроля достигли первого пика. Образец с дозировкой добавки 22 % быстрее других образцов и на 15 мин раньше контроля достиг первого пика. Следует отметить, что количество выделенного дрожжами углекислого газа при первом пике было выше, чем у контроля. Кроме того, внесение пищевой комплексной добавки способствовало повышению скорости подъема тестовых полуфабрикатов в процессе брожения (рис. 6).

Полученные данные свидетельствуют о том, что в присутствии пищевой комплексной добавки в самом начале брожения произошла активация дрожжевых клеток, которые не только быстрее сбраживали собственные сахара муки, но и выделяли больше углекислого газа за счет дополнительных источников питательных веществ, содержащихся в пищевой комплексной добавке.

Время, при котором пшеничное тесто начинало терять углекислый газ (T_x), при дозировках пищевой комплексной добавки 10 и 16 % возрастало на 1,5 и 6,0 мин соответственно по сравнению с контролем. Однако при концентрации 22 % тесто начинало терять углекислый газ раньше контрольного образца на 9,0 мин (рис. 7). Данная дозировка оказывает более сильное деструктивное воздействие на белково-крахмальный матрикс пшеничного теста по сравнению с другими исследуемыми концентрациями. Полученные данные согласуются с результатами реологических исследований, проводимых нами ранее

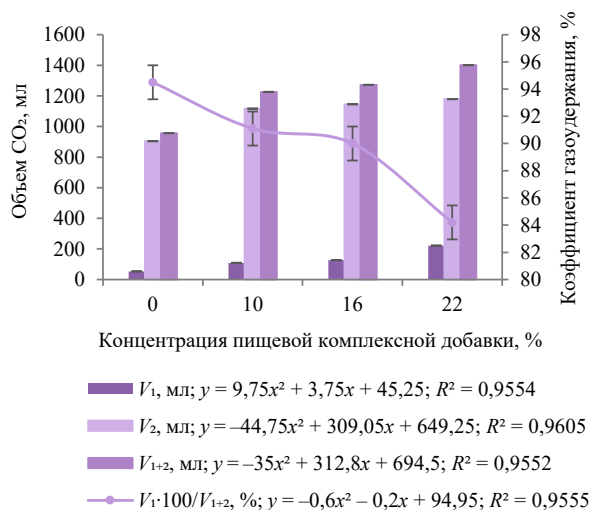


Рисунок 8. Влияние пищевой комплексной добавки на газодерживающую способность тестовых полуфабрикатов и газообразующую способность муки

Figure 8. The effect of the complex additive on the dough's gas-retaining ability and the flour's gas-forming ability

с использованием фаринографа. При концентрации пищевой комплексной добавки 22 % к массе мучной смеси время образования теста было меньше по сравнению с контролем и другими концентрациями пищевой комплексной добавки [16].

Рисунок 8 показывает, что при возрастании концентрации пищевой комплексной добавки наблюдалось увеличение общего объема углекислого газа в среднем на 35,8 % по сравнению с контролем. Объем потерянного и удержанного углекислого газа также возрастал в среднем на 99,7 и 26,9 % по сравнению с контролем. В связи с тем, что количество потерянного углекислого газа превышало количество удержанного диоксида углерода, коэффициент удержания при увеличении количества пищевой комплексной добавки снижался на 3,6–10,9 %. Высокая ферментативная активность пророщенной спельты, входящей в состав пищевой комплексной добавки, могла негативно повлиять на способность удерживать газ. Это связано с увеличением проницаемости теста из-за ослабления белково-углеводного матрикса при гидролизе крахмала и пептидных связей белков [29]. Аналогичные данные получены для пророщенной пшеницы в исследовании A. Marti и др. [30].

Корреляционный анализ данных выявил, что для пшеничной муки высшего сорта существует достоверная статистическая зависимость ($p < 0,05$) между концентрацией пищевой комплексной добавки и максимальной высотой подъема теста, соответствующей максимальному объему ($r = 0,97$), коэффициенту газодержания ($r = 0,98$) и про-

должительности брожения до достижения максимального объема ($r = 0,996$).

Анализ данных показал, что показания реоферметометра находятся в зависимости от ферментативной активности муки. Установлены достоверные статистические отрицательные зависимости ($p < 0,05$) максимальной высоты подъема теста, соответствующей максимальному объему, от температуры клейстеризации ($r = -0,97$), максимальной вязкости ($r = -0,97$), числа падения ($r = -0,99$) и времени до достижения максимальной вязкости ($r = -0,97$). Объем потерянного углекислого газа положительно коррелирует ($p < 0,05$) с температурой начала клейстеризации ($r = 0,99$), объем удержанного газа – отрицательно с температурой клейстеризации ($r = -0,99$), максимальной вязкостью ($r = -0,99$), числом падения ($r = -0,99$) и временем до достижения максимальной вязкости ($r = -0,99$). Коэффициент удержания газа отрицательно коррелирует с температурой начала клейстеризации ($r = -0,99$).

При проведении корреляционного анализа использовали данные из нашего предыдущего исследования [17], чтобы установить влияние свойств мучных смесей и реологических показателей теста в процессе замеса на свойства теста при брожении. Установлены значимые корреляции ($p < 0,05$) между максимальной высотой подъема теста, соответствующей максимальному объему, качеством сырой клейковины, водопоглощением (на 500 FE), влажностью мучных смесей, устойчивостью теста, показателем качества фаринографа и влажностью сырой клейковины ($r = 0,98, 0,98, -0,99, -0,95, -0,95$ и $0,96$ соответственно). Сильные корреляции ($p < 0,05$) выявлены также между объемом удержанного тестом CO_2 и указанными показателями ($r = 0,99, 0,97, -1,0, -0,98, -0,98$ и $0,96$ соответственно), а также степенью разжижения по стандарту ICC ($r = 0,97$). Общий объем произведенного газа отрицательно коррелировал ($p < 0,05$) с временем образования теста ($r = -0,97$), положительно – с качеством сырой клейковины ($r = 0,97$) и водопоглощением (на 500 FE) ($r = 0,95$). Продолжительность брожения до достижения максимального объема положительно коррелировала ($p < 0,05$) с временем образования теста ($r = 0,96$). Это свидетельствует в пользу того, что свойства тестовых полуфабрикатов при брожении определяются хлебопекарными свойствами пшеничной муки и реологическими свойствами теста при замесе.

Таким образом, по результатам исследования динамики поднятия теста, газодерживающей и газообразующей способностей теста установлено, что для пшеничной муки высшего сорта оптимальной является концентрация пищевой комплексной добавки 16 %, которая показала максимальную высоту подъема теста и максимальное время, при котором тесто начинает терять углекислый газ.

Выводы

В результате проведенного исследования изучили влияние пищевой комплексной добавки на вязкость водно-мучной суспензии в процессе ее клейстеризации при нагревании, газообразующую способность муки, динамику поднятия и газодерживающую способность теста в процессе брожения.

Установлено увеличение ферментативной активности пшеничной муки при внесении пищевой комплексной добавки. Выявлено, что внесение пищевой комплексной добавки в пшеничную муку приводит к увеличению температуры начала клейстеризации и снижению температуры полной клейстеризации, максимальной вязкости, времени до достижения максимальной вязкости и числа падения по сравнению с контролем. Корреляционный анализ данных показал, что существует достоверная положительная зависимость между числом падения и показаниями прибора амилограф-Е: температурой клейстеризации, максимальной вязкостью и временем до достижения максимальной вязкости ($r = 0,99, p < 0,05$).

Показано, что пищевая комплексная добавка способствовала увеличению высоты подъема пшеничного теста в среднем на 8,4 мм по сравнению с контролем. Продолжительность брожения до достижения максимальной высоты подъема пшеничного теста снижалась в среднем на 17,8 % по сравнению с контролем. Максимальная высота подъема пшеничного теста, соответствующая максимальному объему, возрастала в среднем на 23,3 % по сравнению с контролем. Продолжительность брожения, требуемая до достижения максимального объема, снижалась в среднем на 19,9 % по сравнению с контролем.

Выявлено увеличение общего объема углекислого газа при внесении пищевой комплексной добавки в среднем на 35,8 % по сравнению с контролем. Объем потерянного и удержанного углекислого газа возрастал в среднем на 99,7 и 26,9 % соответственно. Коэффициент удержания при увеличении количества пищевой комплексной добавки снижался на 3,6–10,9 % по сравнению с контрольным образцом.

Установлено, что для пшеничной муки высшего сорта оптимальной является концентрация пищевой комплексной добавки 16 %, которая показала мак-

симальную высоту подъема теста и максимальное время, при котором тесто начинает терять углекислый газ.

Практическая значимость исследования заключается в том, что результаты работы могут быть использованы в процессе производства обогащенных хлебобулочных изделий из пшеничной муки высшего сорта с использованием пищевой комплексной добавки при определении времени созревания теста. С целью получения готовых изделий высокого качества общее время брожения теста и расстойки тестовых заготовок при дозировке пищевой комплексной добавки 16 % следует сократить на 17,8 % по сравнению с тестовыми полуфабрикатами без добавки.

Целесообразно продолжить дальнейшие исследования в направлении изучения влияния пищевой комплексной добавки на структурно-механические свойства тестовых полуфабрикатов в процессе созревания.

Критерии авторства

А. В. Маслов – аналитический обзор источников информации, проведение экспериментальных исследований, анализ экспериментальных данных и корректировка рукописи. Т. А. Ямашев – проведение экспериментальных исследований и анализ экспериментальных данных. О. В. Старовойтова и З. Ш. Мингалеева – администрирование и разработка концепции исследования, анализ экспериментальных данных и корректировка рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.V. Maslov reviewed literature, conducted experimental studies and data analysis, and edited the manuscript. T.A. Yamashev conducted experimental studies and data analysis. O.V. Starovoitova and Z.Sh. Mingaleeva developed the study concept, administered the research, analyzed experimental data, and edited the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

References/Список литературы

1. Gorbachev DO. Hygienic assessment of risks to health of the working-age population due to nutrition. *Public Health and Life Environment – PH&LE*. 2019;318(9):33–39. (In Russ.). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-318-9-33-39>
2. Kobelkova IV, Martinchik AN, Kudryavtseva KV, Baturin AK. Diet pattern and health of working people. *Problems of Nutrition*. 2017;86(5):17–21. (In Russ.). [Режим питания в сохранении здоровья работающего населения / И. В. Кобелькова [и др.] // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 5. С. 17–21.]. <https://www.elibrary.ru/ZWAWFP>
3. Mayes C. Healthy eating policy: Racial liberalism, global connections and contested science. *Food Ethics*. 2023;8. <https://doi.org/10.1007/s41055-022-00111-5>

4. Neznakina YuS. The basic directions of satisfaction growth in food demands. *Bulletin of Kemerovo State University. Series: Political, Sociological and Economic Sciences*. 2017;(3):70–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2500-3372-2017-3-70-75>
5. Savelyeva EV, Zinurova EE, Mingaleeva ZSh, Maslov AV, Starovoitova OV, Borisova SV, et al. The study of the possibility of using the additive of plant origin for improvement the quality of yeast and wheat bread. *Journal of Environmental Treatment Techniques*. 2019;7:1036–1040.
6. Gumerov TYu, Freze TYu, Gabdukaeva LZ. Ensuring safety during the work with mercury and its inorganic salts. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;962. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042033>
7. Paucar-Menacho LM, Simpalo-Lopez WD, Castillo-Martinez WE, Esquivel-Paredes LJ, Martinez-Villaluenga C. Reformulating bread using sprouted pseudo-cereal grains to enhance its nutritional value and sensorial attributes. *Foods*. 2022;11(11). <https://doi.org/10.3390/foods11111541>
8. Gumerov TYu, Gabdukaeva LZ, Nurgalieva AR, Abrosimov IA. Determination of grain product safety by high-performance liquid chromatography. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;954(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/954/1/012033>
9. Maslov AV, Mingaleeva ZSh, Reshetnik OA. Mushroom powder application of oyster mushroom for activation of pressed baking yeast. *Food Industry*. 2020;5(4):38–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-4-6>
10. Nikolaou EN, Karvela ED, Marini E, Panagopoulou EA, Chiou A, Karathanos VT. Enrichment of bakery products with different formulations of bioactive microconstituents from black Corinthian grape: Impact on physicochemical and rheological properties in dough matrix and final product. *Journal of Cereal Science*. 2022;108. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103566>
11. Dubkova NZ, Kharkov VV, Vakhitov MR. Using Jerusalem artichoke powder in functional food production. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(1):69–78. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-69-78>
12. Immonen M, Wang Y, Coda R, Katina K, Maina NH. The role of dextran and maltosyl-isomalto-oligosaccharides on the structure of bread enriched with surplus bread. *Food Hydrocolloids*. 2022;133. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107944>
13. Gumerov TYu, Gafarova IA, Mingaleeva ZSh, Reshetnik OA. The food safety and quality of food products. *Life Safety*. 2022;257(5):3–9. (In Russ.). [Безопасность и качество пищевых продуктов / Т. Ю. Гумеров [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 257. № 5. С. 3–9.]. <https://www.elibrary.ru/SCYBVR>
14. Savelyeva EV, Zinurova EE, Starovoitova OV, Reshetnik OA. Evaluation of naked eincorn grain and flour technological properties. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2018;5(9):9289–9296. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1439308>
15. Gumerov TYu, Mingaleeva ZSh, Reshetnik OA. Recipes development and evaluation of quality and safety indicators for cereal. *Food Industry*. 2022;7(1):70–81. (In Russ.). <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-1-9>
16. Maslov AV, Biktagirova AI, Agzamova LI, Mingaleeva ZSh. Method application of generalized reduced gradient and fractional factor experiment in the composition optimization of the complex food additive for bread of increased nutritional value. *Food Industry*. 2021;6(3):5–14. (In Russ.). <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-1>
17. Maslov AV, Mingaleeva ZSh, Yamashev TA, Shibaeva NF. Effect of a complex plant additive on flour mixes and wheat dough. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(3):511–525. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2385>
18. Ktenioudaki A, Butler F, Gallagher E. Dough characteristics of Irish wheat varieties II. Aeration profile and baking quality. *LWT – Food Science and Technology*. 2011;44(3):602–610. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.015>
19. Bykova NYu, Chernykh VYa. Influence of technological factors on the physical and chemical properties of rye dough and the parameters of its fermentation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1052. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1052/1/012026>
20. Codina GG, Mironeasa S, Voica DV, Mironeasa C. Multivariate analysis of wheat flour dough sugars, gas production, and dough development at different fermentation times. *Czech Journal of Food Sciences*. 2013;31(3):222–229. <https://doi.org/10.17221/216/2012-CJFS>
21. Hadnadev TD, Pojic M, Hadnadev M, Torbica A. The role of empirical rheology in flour quality control. In: Akyar I, editor. *Wide spectra of quality control*. IntechOpen; 2011. pp. 335–360. <https://doi.org/10.5772/24148>
22. Ponomareva ML, Ponomarev SN. Optimization of grain quality parameters for winter rye breeding. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(3):320–327. (In Russ.). <https://doi.org/10.18699/VJ19.496>
23. Albasir MOS, Alyassin M, Campbell GM. Development of bread dough by sheeting: Effects of sheeting regime, bran level and bran particle size. *Foods*. 2022;11(15). <https://doi.org/10.3390/foods11152300>
24. Immonen M, Maina NH, Coda R, Katina K. The molecular state of gelatinized starch in surplus bread affects bread recycling potential. *LWT*. 2021;150. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112071>