ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2385
https://elibrary.ru/UBJCWH

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Изучение влияния комплексной растительной добавки на свойства мучных смесей и пшеничного теста

А. В. Маслов*, З. Ш. Мингалеева, Т. А. Ямашев, Н. Ф. Шибаева

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Поступила в редакцию: 08.02.2022
Принята после рецензирования: 18.03.2022
Принята к публикации: 05.04.2022

**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
Н. Ф. Шибаева: https://orcid.org/0000-0002-0482-4723

© А. В. Маслов, З. Ш. Мингалеева, Т. А. Ямашев, Н. Ф. Шибаева, 2022

Аннотация.
Для создания обогащенных хлебобулочных изделий используются пищевые добавки из нетрадиционного растительного сырья. Однако включение их в рецептуру с пшеничной мукой способно влиять на структуру белково-крахмального матрикса и реологические характеристики тестовых полуфабрикатов, что может сказаться на качестве готового изделия. Цель исследования заключалась в изучении влияния пищевой добавки на основе композиции растительных компонентов на влажность, водопоглощение и состояние белково-протеиназного комплекса мучных смесей, а также на реологические свойства пшеничного теста.
Объектами исследования являлись мучные смеси из муки пшеничной высшего сорта и пищевой комплексной добавки (в концентрациях 10, 16 и 22 % к массе готовых мучных смесей) и тестовые полуфабрикаты на их основе. Пищевая комплексная добавка состоит из муки пшеничной обойной и порошков пророщенной спельты, семян тыквы, плодовых тел грибов вешенки и ягод крыжовника в соотношении 56,3:25,0:17,2:0,9:0,6 соответственно. Влажности мучных смесей определяли гравиметрическим методом, водопоглощение и реологические свойства – прибором Farinograph-AT, содержание сырой клейковины – отмыванием клейковины, сухой – методом высушивания, качество клейковины – по показаниям прибора ИДК-3М.
Внесение добавки в пшеничную муку приводило к снижению водопоглощения смеси и времени образования теста, способствовало расслаблению клейковины, увеличению количества и влажности сырой клейковины. Количество сухой клейковины при дозировках добавки 16 и 22 % к массе мучной смеси уменьшалось на 3,4 и 4,0 % соответственно по отношению к контролю, а при 10 % возрастало на 3,3 %. Наилучшие значения устойчивости, степени разжижения теста и показателя качества фаринографа (критерий качества муки) имел образец с дозировкой добавки в количестве 16 % к массе мучной смеси.
Результаты исследования могут применяться в производстве хлебобулочных изделий, обогащенных пищевой комплексной добавкой на основе растительных компонентов. Необходимо производить перерасчет количества воды на замес теста и определение его продолжительности. Дальнейшие исследования следует направить на изучение влияния добавки на свойства тестовых полуфабрикатов в процессе брожения и расстойки.

Ключевые слова. Хлебобулочные изделия, тесто, мучная смесь, клейковина, реология, растительное сырье, обогащение

Для цитирования: Изучение влияния комплексной растительной добавки на свойства мучных смесей и пшеничного теста / А. В. Маслов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 3. С. 511–525. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2385

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2385
https://elibrary.ru/UBJCWH

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Effect of a Complex Plant Additive on Flour Mixes and Wheat Dough

Alexander V. Maslov*, Zamira Sh. Mingaleeva, Timur A. Yamashev, Nailya F. Shibaeva

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Received: 08.02.2022
Revised: 18.03.2022
Accepted: 05.04.2022

**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
Nailya F. Shibaeva: https://orcid.org/0000-0002-0482-4723

© A.V. Maslov, Z.Sh. Mingaleeva, T.A. Yamashev, N.F. Shibaeva, 2022

Abstract.
Food additives from non-traditional plant raw materials are a promising source of new fortified bakery products. However, they can affect the protein-starch structure of wheat flour and the rheological profile of the semi-finished bakery products, thus changing the quality of the finished product. The research objective was to study the effect of a novel plant food additive on the moisture, water absorption, and protein-proteinase complex of flour mixes and the rheological properties of wheat dough. The study featured flour mixes of top-grade wheat flour and the new food complex additive (10, 16, and 22%), as well as dough semi-finished products. The food complex additive consisted of whole grain wheat flour and powders of germinated spelt, pumpkin seeds, oyster mushrooms, and gooseberries in a ratio of 56.3:25.0:17.2:0.9:0.6, respectively. The moisture content was determined by the gravimetric method, while the water absorption and rheological properties were described using a Farinograph-AT. The content of wet gluten was measured by washing, the content of dry gluten was determined by drying, and the quality of gluten was tested according using an IDK-3M device.
The additive decreased the water absorption and the dough development time, contributed to the gluten relaxation, and increased the amount and humidity of wet gluten. At 16 and 22% of the additive, the amount of dry gluten decreased by 3.4 and 4.0%, respectively; at 10%, it increased by 3.3%. The best stability, dough softening degree, and farinograph quality indicator were observed at 16%.
The results can be used to produce new bakery products fortified with the new complex plant food additive, with the amount of water and kneading time adjusted for each particular case. Further research will feature the effect of the additive on the properties of dough semi-finished products during fermentation and proofing.

Keywords. Bakery products, dough, flour mixture, gluten, rheology, plant raw materials, enrichment

For citation: 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

Введение

Объем производства хлеба и хлебобулочных изделий снижается, но изделия из муки остаются продуктам питания повседневного потребления. В связи с этим перед производителями стоит задача повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции и придания ей свойств, позволяющих выделить изделия среди других аналогичных товаров в своей категории. Кроме того, возросла ориентация потребителей на здоровый образ жизни, в результате чего повысились требования к продуктам питания. Потребители желают приобретать хлеб с улучшенным составом, повышенной пищевой ценностью и высоким содержанием «здоровых» добавок [1, 2].

Возросло число работ, нацеленных на повышение пищевой ценности хлебобулочных изделий [3]. При проведении таких исследований важно не только создание конечного продукта с заданным химическим составом, но и разработка технологии производства.

Одним из главных этапов при производстве хлебобулочных изделий является замес тестовых полуфабрикатов. На данной стадии технологического

процесса происходит формирование структуры матрикса клейковинных белков, в который включаются зерна крахмала [4]. Белково-крахмальный матрикс определяет структурно-механические свойства готовых хлебобулочных изделий. Реологические характеристики тестовых полуфабрикатов зависят от свойств клейковины. Они определяются соотношением и взаимодействием глютенина и глиадина, имеющих важное значение при формировании вязкоупругих свойств полуфабрикатов (например, удержание углекислого газа, выделяющегося при брожении теста) и качества конечного продукта. Глиадины определяют вязкость и растяжимость теста, а глютенины обладают когезионными свойствами и способствуют приданию тесту прочности и эластичности [5, 6]. На белково-крахмальный матрикс и структурно-механические характеристики тестовых полуфабрикатов могут оказывать влияние обогащающие добавки, вносимые в тесто [3, 7].

Оценить влияние вносимых добавок на хлебопекарные свойства мучных смесей и степень их воздействия на белково-крахмальный матрикс возможно с помощью различных химических, технологических и реологических методов. В хлебопекарной промышленности применяют несколько приборов, измеряющих реологические свойства теста: альвеограф, фаринограф, миксограф и экстенсограф. Наиболее точные результаты измерения возможно получить с использованием фаринографа Farinograph-AT [8].

Фаринограф является широко используемым физическим прибором для измерения реологических свойств тестовых полуфабрикатов. В фаринографе с постоянной скоростью происходит замешивание теста, в процессе которого регистрируется возникающее сопротивление, на основе чего составляется фаринограмма. Это диаграмма, на оси абсцисс которой отмечается время замешивания теста, а на оси ординат – консистенция, выраженная в единицах фаринографа (FE). Консистенция пропорциональна величине крутящего момента лопастей мешалки, который уравновешивает сопротивление теста напряжению сдвига [9–12].

Кривая фаринограммы разделена на две части. Первая часть характеризует стадию развития теста и отличается увеличением консистенции, отражающей повышение сопротивления тестового полуфабриката в процессе смешивания. Вторая часть фаринограммы начинается при достижении консистенцией своего пика и дальнейшего снижения, которое вызвано чрезмерным перемешиванием. Данное снижение консистенции называется стадией размягчения теста [13, 14].

Учеными проводятся исследования, которые показывают, что добавки, повышающие пищевую ценность хлеба (порошки из семян тыквы, грибов вешенок, ягод, нетрадиционных зерновых культур и пророщенных зерен), оказывают влияние на структуру белково-крахмального матрикса и реологические характеристики тестовых полуфабрикатов [15–18]. Авторами [19, 20] установлено, что внесение порошков из семян тыквы и грибов вешенок в муку повышает водопоглощающую способность мучных смесей, время образования и устойчивость теста, но способствует понижению степени разжижения теста. Недостаточно информации представлено о влиянии комплекса добавок на водопоглощение мучных смесей, реологические свойства и структуру белкового матрикса тестовых полуфабрикатов.

В нашем предыдущем исследовании было показано, что применение пищевой комплексной добавки позволяет повысить пищевую ценность пшеничного хлеба: увеличить содержание белков, жиров и пищевых волокон и снизить содержание углеводов [21]. В состав пищевой комплексной добавки входили следующие компоненты: мука пшеничная обойная, порошок пророщенной спельты, порошки 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 [2, 22].

Целью исследования являлось изучение влияния пищевой комплексной добавки на реологические свойства пшеничного теста, водопоглощение и состояние белково-протеиназного комплекса мучных смесей.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования выступали мука пшеничная высшего сорта (ГОСТ 26574-2017), мучные смеси и тестовые полуфабрикаты.

Мучные смеси готовили с использованием муки пшеничной высшего сорта (ГОСТ 26574-2017) и пищевой комплексной добавки, состоящей из муки пшеничной обойной, порошков пророщенной спельты, семян тыквы, плодовых тел грибов вешенки и ягод крыжовника в соотношении 56,3:25,0:17,2:0,9:0,6 соответственно. Содержание компонентов в составе пищевой комплексной добавки определено по результатам экспериментов, представленных в работе [21]. Пищевая комплексная добавка представляет собой порошок, максимальное количество частиц которого соответствует диапазону 1–40 мкм. Содержание основных веществ в добавке на 100 г следующее: вода – 8,2 г, белки – 13,1 г, жиры – 9,9 г, усвояемые углеводы – 64,2 г, сырая клетчатка – 2,8 г, зола – 1,9 г. Пищевую комплексную добавку вносили в муку пшеничную высшего сорта в концентрациях 10, 16 и 22 % к массе готовых мучных смесей.

Влажность мучных смесей определяли гравиметрическим методом согласно ГОСТ 9404-88.

Водопоглощение мучных смесей и реологические свойства тестовых полуфабрикатов (время образования теста, консистенция, устойчивость,

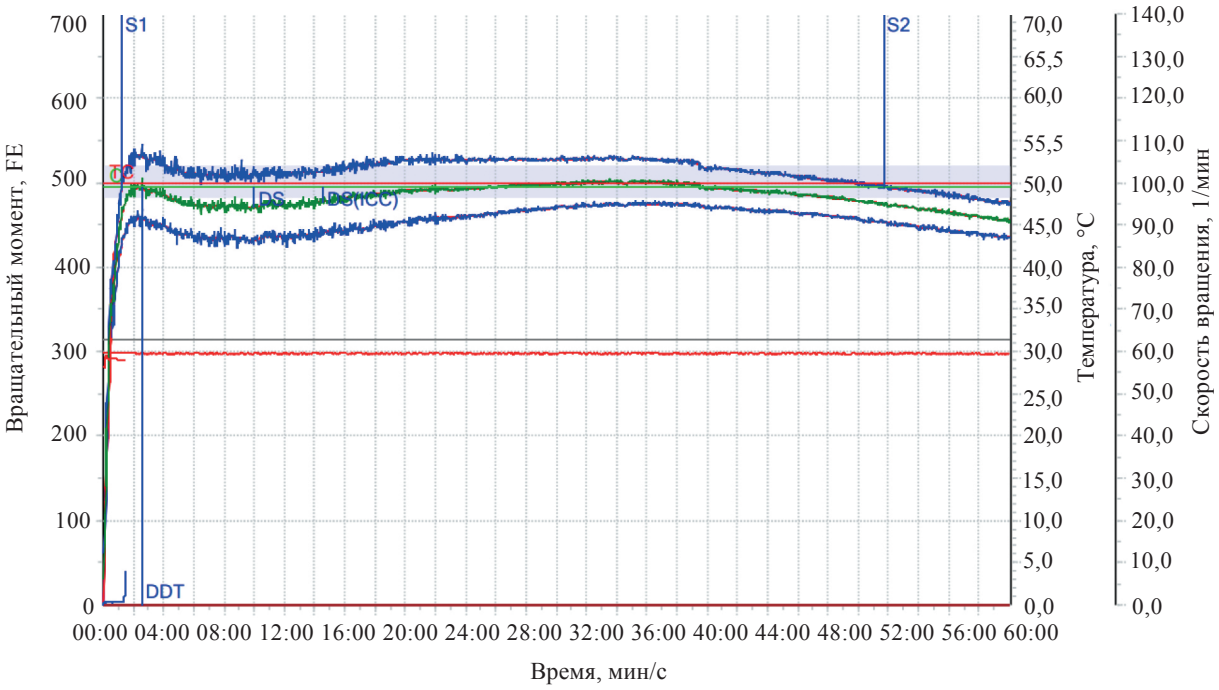

Рисунок 1. Фаринограмма тестового полуфабриката из пшеничной муки высшего сорта (контроль)

Figure 1. Farinogram of a semi-finished bakery product from top-grade wheat flour (control)

степень разжижения через 10 мин после старта и через 12 мин после максимума, показатели качества) определяли с использованием фаринографа Farinograph-AT (Brabender, Дуйсбург, Германия) согласно ГОСТ ISO 5530-1-2013. Тесто готовили в мешалке фаринографа из мучной смеси массой, эквивалентной 300 г муки влажностью 14 %, согласно ГОСТ ISO 5530-1-2013.

Содержание сырой клейковины определяли методом отмывания клейковины из замешанного теста, сухой – методом высушивания сырой клейковины, качество клейковины оценивали по показаниям прибора ИДК-3М согласно ГОСТ 27839-2013. Влажность сырой клейковины определяли гравиметрическим методом и рассчитывали по формуле:

$$W = (M_{\text{сыр.к.}} - M_{\text{сух.к.}})\cdot 100/M_{\text{сыр.к.}} \quad (1)$$

где $M_{\text{сыр.к.}}$ – масса сырой клейковины; $M_{\text{сух.к.}}$ – масса сухой клейковины; 100 – коэффициент пересчета в %.

Статистический анализ 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

Для оценки влияния пищевой комплексной добавки на водопоглощение мучных смесей и реологические характеристики тестовых полуфабрикатов проведена оценка графика фаринограммы контрольного образца тестового полуфабриката из пшеничной муки высшего сорта без добавления пищевой комплексной добавки (рис. 1).

На стадию формирования структуры тестовых полуфабрикатов влияют два основных процесса: поглощение воды компонентами мучной смеси (гидратация) и структурообразование. Последний процесс заключается в образовании межмолекулярных дисульфидных связей между белками клейковины и постепенном формировании пространственно непрерывной сети клейковины, которая связывает крахмал и другие компоненты мучной смеси [13, 23].

Благодаря данным процессам консистенция теста увеличивается. Однако чем медленнее происходит гидратация компонентов муки, тем более длительнее становится процесс формирования белково-крахмального матрикса. Исследователи J. Lefebvre и N. Mahmoudi установили, что увеличение гидратации теста приводит к уменьшению его консистенции, в то время как повышение числа межмолекулярных связей, образующих сеть клейковины, способствует улучшению консистенции теста [24].

Стадия формирования структуры тестовых полуфабрикатов заканчивается в тот момент, когда продолжающееся перемешивание приводит к ослаблению консистенции теста, т. е. начинается стадия размягчения.

Описанные выше изменения консистенции теста визуализируются с помощью фаринограммы с одним

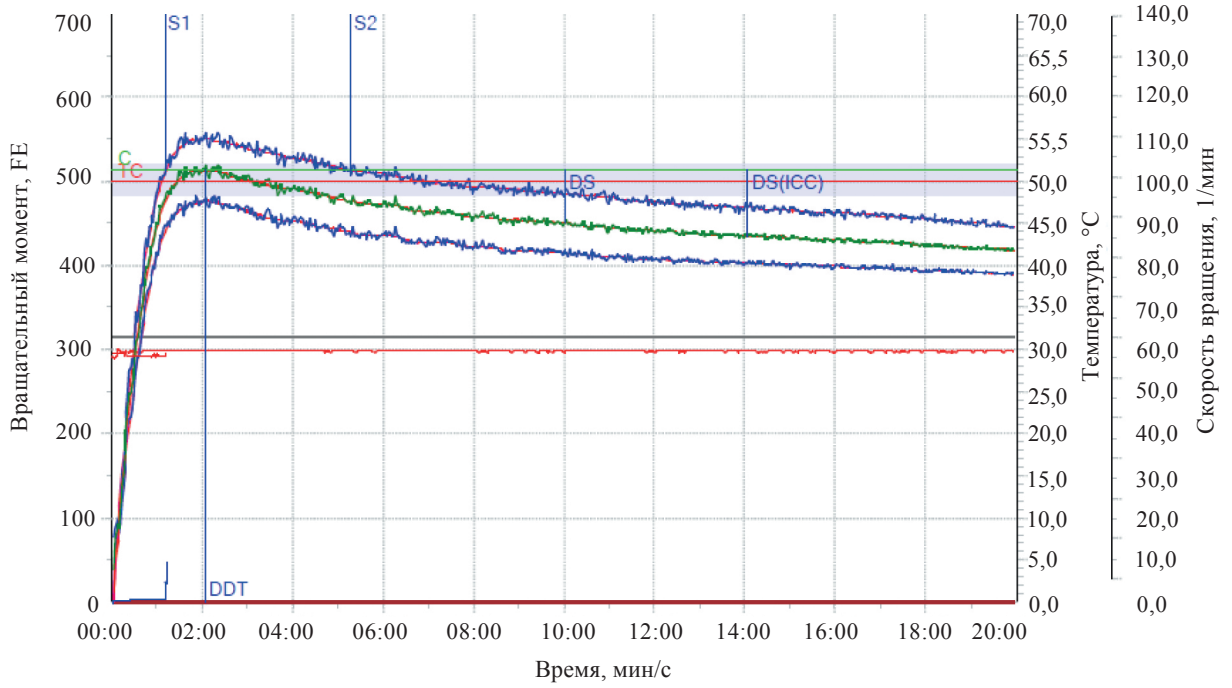

Рисунок 2. Фаринограмма тестового полуфабриката из пшеничной муки высшего сорта с добавлением пищевой комплексной добавки в концентрации 10 % к массе мучной смеси

Figure 2. Farinogram of a semi-finished bakery product from top-grade wheat flour with 10% of food complex additive by flour mix weight

пиком и типичны для однородных видов пшеничной муки, не содержащих улучшителей [13]. Однако анализ рисунка 1 позволяет сделать вывод о том, что фаринограмма пшеничной муки высшего сорта без добавления пищевой комплексной добавки относится к типу фаринограмм с двумя или несколькими пиками (максимумами) консистенции. Данный график отличался ростом консистенции до достижения пика через 2,57 мин после начала перемешивания муки и воды в мешалке фаринографа. Затем наблюдалось снижение консистенции, после чего на 8–10 мин происходил повторный рост консистенции, который достиг второго пика на 33,68 мин замеса. Так как во время проведения анализа на кривой наблюдалось образование второго максимума консистенции, то время испытания увеличили до 60 мин.

Значение консистенции во время второго пика фаринограммы (502 FE) превышало это же значение во время первого пика (495 FE). Из-за этого временем образования теста можно считать второй пик, что технически неверно, т. к. по ГОСТ ISO 5530-1-2013 время образования теста – это разность между временем начала добавления воды и временем появления первых признаков снижения консистенции. Поэтому моментом образования теста следует считать первый пик. Образование второго максимума консистенции нехарактерно для обычной муки. Итальянские ученые M. Migliori и S. Correra в своем исследовании показали, что второй пик консистенции на фаринограмме часто наблюдается, когда тестовые полуфабрикаты замешиваются из смеси нескольких видов пшеничной муки, различающихся физическими параметрами. Например, способностью связывать воду и размер частиц [12]. Установлено, что на процесс поглощения воды мучной смесью и структуру белков клейковины во время замеса теста могут влиять степень разрушения крахмальных зерен муки, содержание высокомолекулярных глютенинов и присутствие добавок с отложенным эффектом на белково-крахмальный матрикс: пищевые волокна, антиоксиданты и глюкозоксидаза [25–28].

Следовательно, в данном случае при определении водопоглощения и реологических характеристик контрольного образца тестового полуфабриката корректно принимать во внимание только первый пик, т. к. второй пик не определялся изначальными свойствами белково-протеиназного комплекса муки. Анализ полученных результатов проводился с использованием в качестве контрольных значений показателей фаринограммы, рассчитанных по первому пику.

На рисунках 2–4 представлены фаринограммы опытных образцов тестовых полуфабрикатов из пшеничной муки высшего сорта с добавления пищевой комплексной добавки в концентрациях 10, 16 и 22 % к массе мучных смесей.

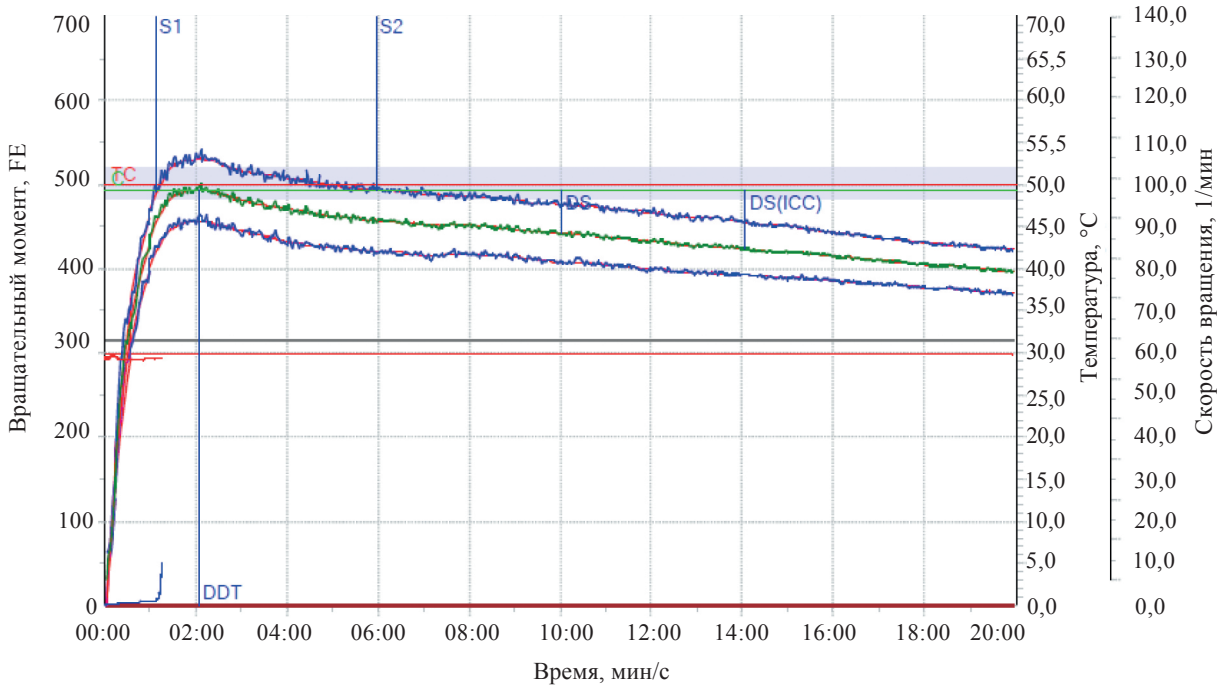

Рисунок 3. Фаринограмма тестового полуфабриката из пшеничной муки высшего сорта с добавлением пищевой комплексной добавки в концентрации 16 % к массе мучной смеси

Figure 3. Farinogram of a semi-finished bakery product from top-grade wheat flour with 16% of food complex additive by flour mix weight

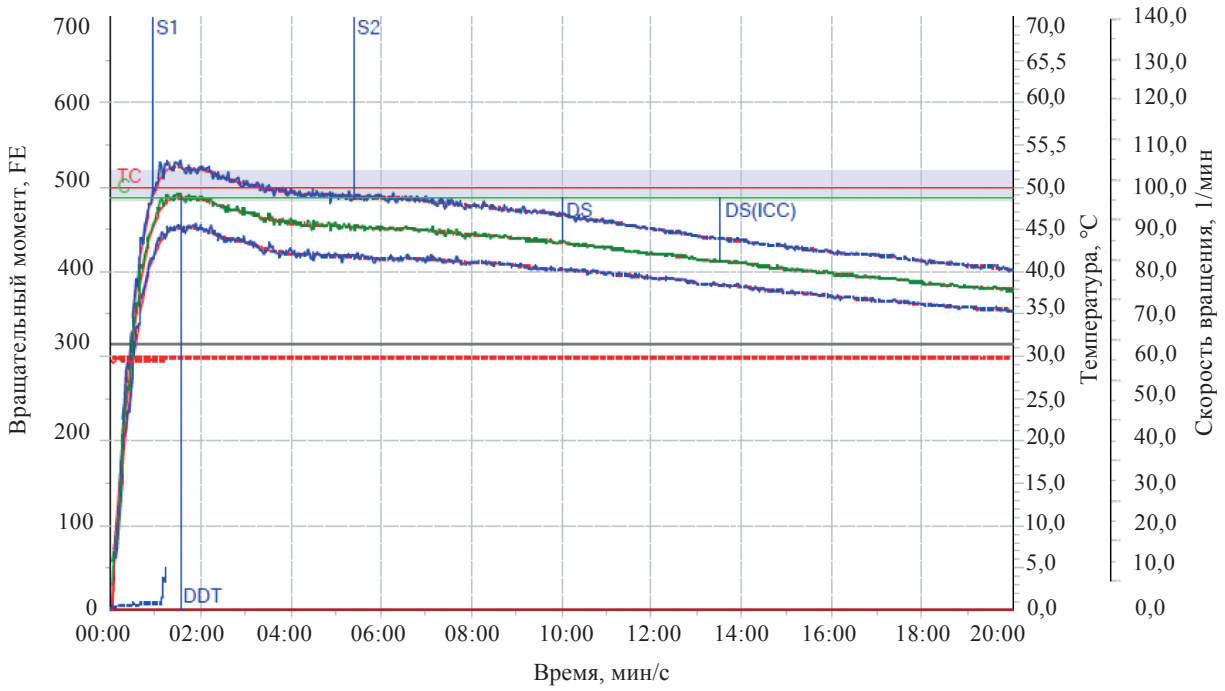

Рисунок 4. Фаринограмма тестового полуфабриката из пшеничной муки высшего сорта с добавлением пищевой комплексной добавки в концентрации 22 % к массе мучной смеси

Figure 4. Farinogram of a semi-finished bakery product from top-grade wheat flour with 22% of food complex additive by flour mix weight

Рисунки 2–4 демонстрируют, что фаринограммы тестовых полуфабрикатов, приготовленных из мучных смесей с пищевой комплексной добавкой, характеризовались наличием одного пика консистенции. Полученные результаты говорят о влиянии пищевой комплексной добавки на формирование структуры белково-крахмального матрикса тестовых полуфабрикатов во время их замеса.

На рисунках 5–8 представлен математический анализ фаринограмм в виде графических иллюстраций и уравнений регрессии (полиномы второй степени), характеризующих влияние пищевой комплексной добавки на водопоглощение мучных смесей и реологические свойства тестовых полуфабрикатов.

Показатель водопоглощения определяет количество воды, которое необходимо для получения теста требуемой консистенции. В данном исследовании определяли влияние пищевой комплексной добавки на водопоглощение и влажность мучных смесей. Результаты представлены на рисунке 5.

Данные рисунка 5 показывают, что внесение пищевой комплексной добавки в пшеничную муку высшего сорта способствовало повышению показателя водопоглощения, которое соответствует фактическому пику консистенции и влажности мучных смесей, а также водопоглощению, скорректированному на требуемую консистенцию 500 FE. Увеличение указанных показателей при повышении концентрации пищевой комплексной добавки соответствовало полиномиальной регрессии второй степени. Это подтверждается соответствующими величинами достоверной аппроксимации R^2.

В технологии хлебопечения наиболее важным является показатель водопоглощения, скорректированный на базисную влажность мучных смесей 14,0 %. Он позволяет сравнить между собой водопоглощение смесей, имеющих разную фактическую влажность. Более высокое водопоглощение указывает на то, что для достижения желаемой консистенции требуется больше воды [3, 6, 20]. Анализ данных рисунка 5 показывает, что увеличение концентрации пищевой комплексной добавки в мучных смесях приводило к снижению их влажности. При дозировках пищевой комплексной добавки 10, 16 и 22 % показатель влажности мучных смесей уменьшился на 6,0, 6,9 и 7,7 % соответственно по сравнению с пшеничной мукой высшего сорта. Полученные данные объясняются более низкой влажностью пищевой комплексной

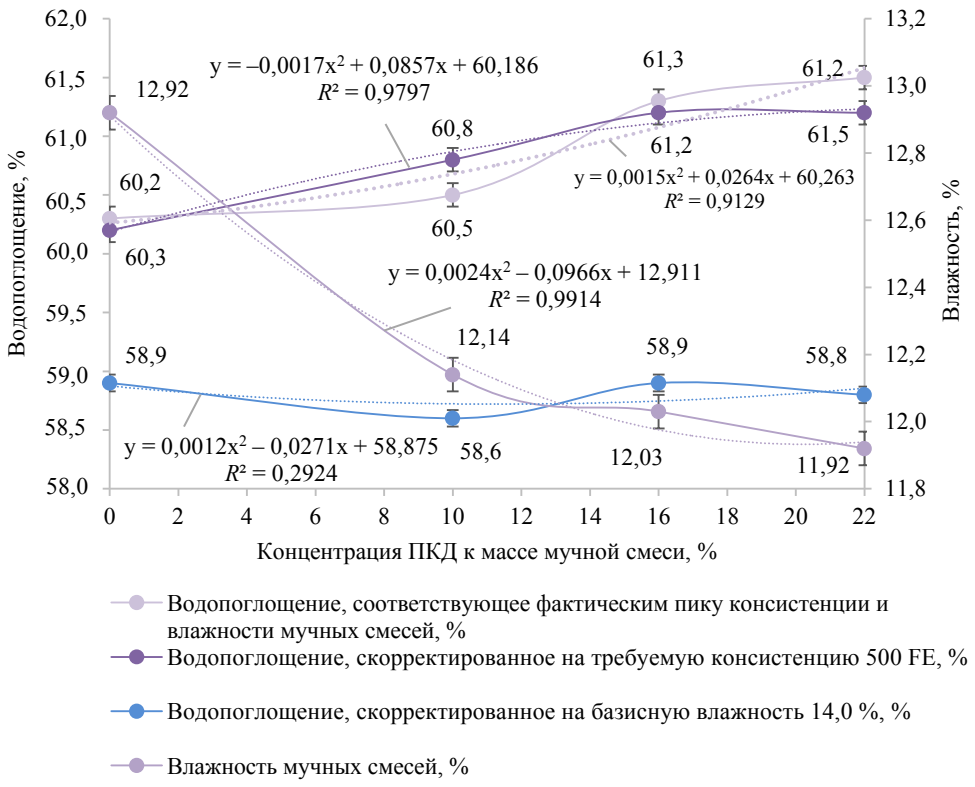

Рисунок 5. Влияние пищевой комплексной добавки на влажность и водопоглощение мучных смесей

Figure 5. Effect of the complex additive on the moisture and water absorption of the flour mixes

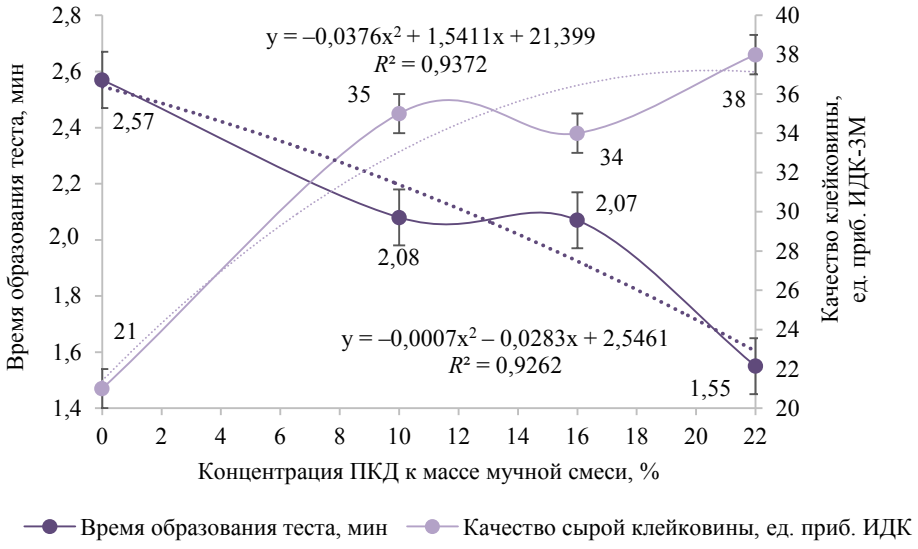

Рисунок 6. Влияние пищевой комплексной добавки на время образования теста и качество клейковины по показаниям прибора ИДК-3М

Figure 6. Effect of the complex additive on the dough development time and gluten quality

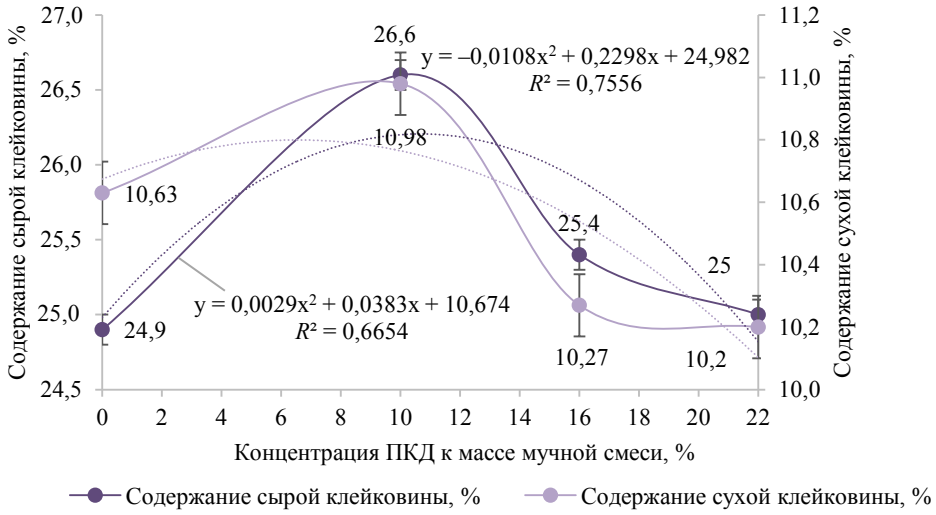

Рисунок 7. Влияние пищевой комплексной добавки на содержание сырой и сухой клейковины в мучных смесях и влажность сырой клейковины

Figure 7. Effect of the complex additive on the content of wet and dry gluten in flour mixes and the moisture content of wet gluten

добавки, которая зависит от влажности входящих в ее состав компонентов.

В связи с уменьшением влажности мучных смесей при увеличении дозировок пищевой комплексной добавки наблюдалось незначительное снижение показателя водопоглощения, скорректированного на базисную влажность мучных смесей 14,0 %. Данный показатель снижался при концентрациях пищевой комплексной добавки к массе мучной смеси 10 и 22 % на 0,51 и 0,17 % соответственно по сравнению с контролем. При концентрации пищевой комплексной добавки 16 % показатель водопоглощения был равен контрольному.

Водопоглощение пшеничной муки зависит от крупности помола, степени повреждения крахмала, количества пентозанов, а также содержания белка, пищевых волокон, прочности клейковины и других факторов [9, 29, 30]. Согласно литературным данным семена тыквы, грибы вешенки и спельта

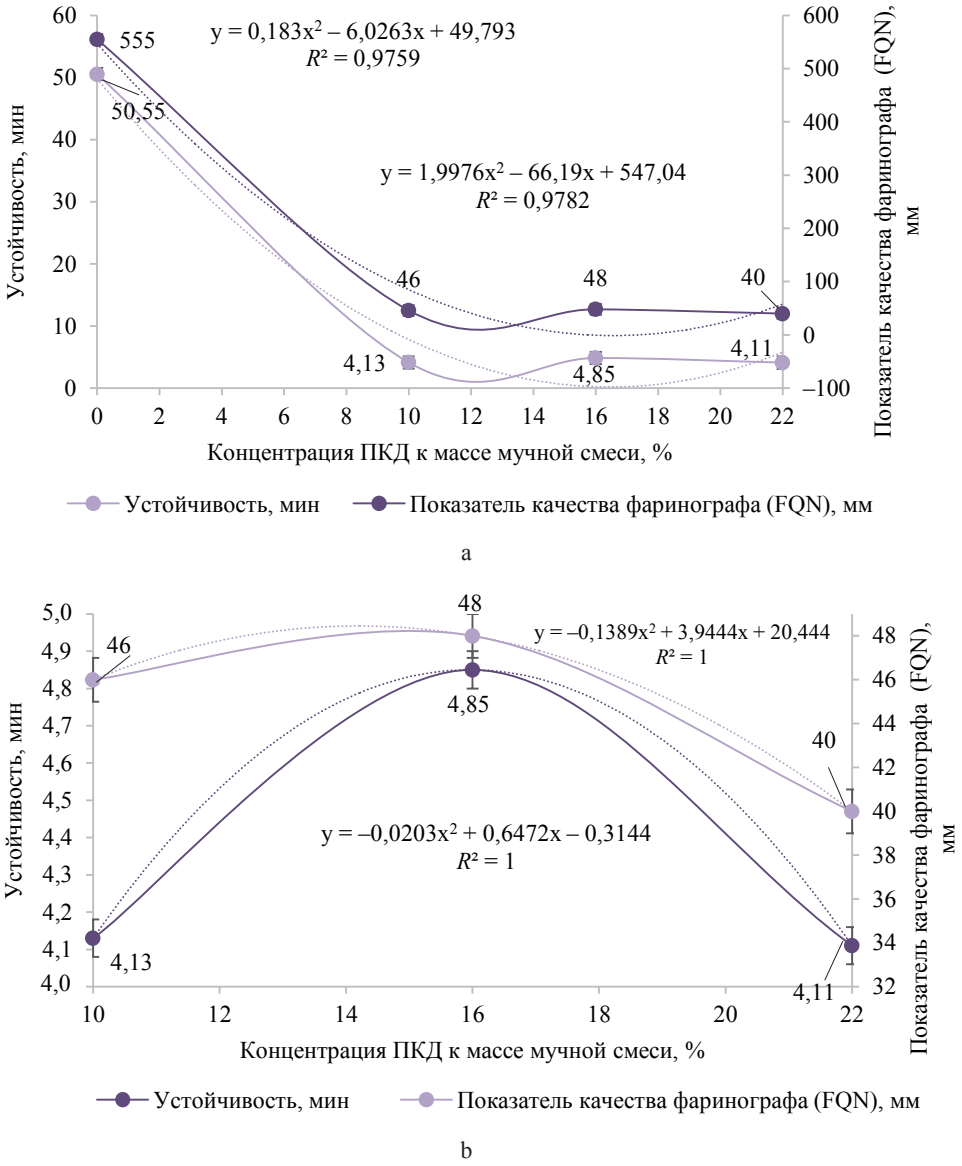

Рисунок 8. Влияние пищевой комплексной добавки на устойчивость и показатель качества (FQN) тестовых полуфабрикатов: a – сравнение опытных образцов с контролем; b – сравнение между опытными образцами

Figure 8. Effect of the complex additive on the stability and quality number of the semi-finished bakery products: a – test samples vs. control; b – comparative analysis of test samples

отличаются высоким содержанием белка и пищевых волокон [31–33]. Благодаря этому при увеличении концентрации пищевой комплексной добавки водопоглощение опытных смесей оставалось примерно равным контролю, несмотря на уменьшение их влажности.

Внесение пищевой комплексной добавки оказывало влияние на все показатели реологических свойств теста. Результаты анализа фаринограмм, представленные на рисунке 6, показывают, что время образования теста сокращалось по мере добавления пищевой комплексной добавки в мучную смесь. При концентрациях пищевой комплексной добавки 10, 16 и 22 % к массе мучной смеси время образования теста сокращалось на 19,1, 19,5 и 39,7 % соответственно по сравнению со временем образования теста из пшеничной муки высшего сорта.

W. Biel с соавторами предположили, что время образования теста зависит от количества и качества клейковины и ее водосвязывающей способности [17]. Поэтому в данном исследовании оценивали влияние пищевой комплексной добавки на содержание сырой и сухой клейковины в мучных смесях, а также

влажность и качество сырой клейковины. Результаты исследований и их математическая обработка представлены на рисунках 6–8.

Корреляционный анализ данных показал, что наблюдалась отрицательная взаимосвязь между качеством клейковины (ед. приб. ИДК-3М) и временем образования теста: коэффициент корреляции $R = -0{,}91$ при уровне значимости $P = 0{,}087$. Увеличение растяжимости клейковины приводило к уменьшению времени образования теста. Полученные данные подтверждают гипотезу W. Biel с соавторами [17].

Данные рисунка 7 показывают, что при концентрациях пищевой комплексной добавки 10, 16 и 22 % к массе мучной смеси содержание сырой клейковины возрастало на 6,4, 2,0 и 0,4 % соответственно по сравнению с контролем. Содержание сухой клейковины при концентрации пищевой комплексной добавки 10 % к массе мучной смеси возрастало на 3,3 %, а при дозировках 16 и 22 % уменьшалось на 3,4 и 4,0 % соответственно по отношению к контролю. Расхождения в содержании сырой и сухой клейковины в мучных смесях связано с тем, что пищевая комплексная добавка оказывала влияние на формирование белкового матрикса в процессе набухания и отмывания клейковины. Согласно данным S. H. V. Cornet с соавторами клейковинные белки при гидратации могут взаимодействовать с неглютеновой фазой, что приводит к снижению их коэффициента набухания [33]. Поэтому во время отмывания клейковины вместе с крахмалом и другими неглютеновыми компонентами мучных смесей произошло отделение части клейковинных белков. В результате содержание сухой клейковины в мучных смесях с пищевой комплексной добавкой было ниже, по сравнению с контролем, чем содержание сырой клейковины.

При увеличении концентрации пищевой комплексной добавки наблюдалось повышение влажности сырой клейковины (рис. 7). При концентрациях пищевой комплексной добавки 10, 16 и 22 % к массе мучной смеси показатель влажности сырой клейковины увеличивался на 2,4, 3,9 и 3,5 % соответственно по сравнению с контролем. Согласно требованиям ГОСТ 27839-2013 высушивание отмытой клейковины ведут до момента ее прилипания. Внесение пищевой комплексной добавки в пшеничную муку высшего сорта привело к ослаблению связей между белками клейковины. В результате этого клейковина приобрела большую эластичность и стала более липкой, чем контроль. Данное предположение подтверждается также показаниями прибора ИДК-3М (рис. 6), которые возрастали при концентрации пищевой комплексной добавки 10, 16 и 22 % к массе мучной смеси на 66,7, 61,9 и 81 % соответственно по сравнению с контролем. Ослабление клейковины обусловлено действием пророщенной спельты, порошками семян тыквы и грибов вешенки, которые входят в состав пищевой комплексной добавки.

Вследствие неестественной пологости фаринограммы пшеничной муки высшего сорта без добавления пищевой комплексной добавки указанные показатели для опытных образцов мучных смесей следует сравнивать не с контролем, а друг с другом для достижения репрезентативности результатов. Показатели устойчивости, качества и степени разжижения, рассчитанные по кривой фаринограммы с двумя пиками консистенции, невозможно сравнивать с показателями, которые рассчитаны по кривой фаринограммы с одним пиком консистенции. В связи с этим на рисунках 8 и 9 показаны данные по влиянию пищевой комплексной добавки на устойчивость, показатели качества и степень разжижения тестовых полуфабрикатов через 10 мин после старта и 12 мин после достижения максимума в сравнении с контролем (a) и между опытными образцами (b).

Устойчивость теста – это разница во времени между точкой, где вершина кривой впервые пересекает линию 500 FE, и точкой, где вершина кривой повторно пересекает линию 500 FE. Показатель качества фаринографа (FQN) характеризует устойчивость консистенции теста в процессе замеса и определяется как расстояние по горизонтальной оси от начала замешивания до момента, когда консистенция снизится от уровня пика середины кривой на 30 единиц. Среди опытных образцов тестовых полуфабрикатов наибольшие показатели устойчивости теста и качества фаринографа имел образец с дозировкой пищевой комплексной добавки в количестве 16 % к массе мучной смеси.

Среди опытных образцов тестовых полуфабрикатов наименьшую степень разжижения (рис. 9) имел образец с концентрацией пищевой комплексной добавки 16 % к массе мучной смеси. Степень разжижения через 10 мин после старта у данного образца была на 19,0 и 3,9 % ниже, чем у опытных образцов с дозировками 10 и 22 %. Степень разжижения через 12 мин после максимума характеризовалась примерно такими же величинами: была ниже на 10,3 и 7,9 % по сравнению с опытными образцами с дозировками пищевой комплексной добавки 10 и 22 % к массе мучной смеси. Полученные данные коррелируют с данными рисунка 8 и подтверждают, что тестовый полуфабрикат, приготовленный с пищевой комплексной добавкой в концентрации 16 % к массе мучной смеси, был наиболее устойчивым к потере консистенции из-за перемешивания. Данная концентрация пищевой комплексной добавки способствовала образованию более устойчивого клейковинного каркаса теста по сравнению с дозировками 10 и 22 % к массе мучной смеси.

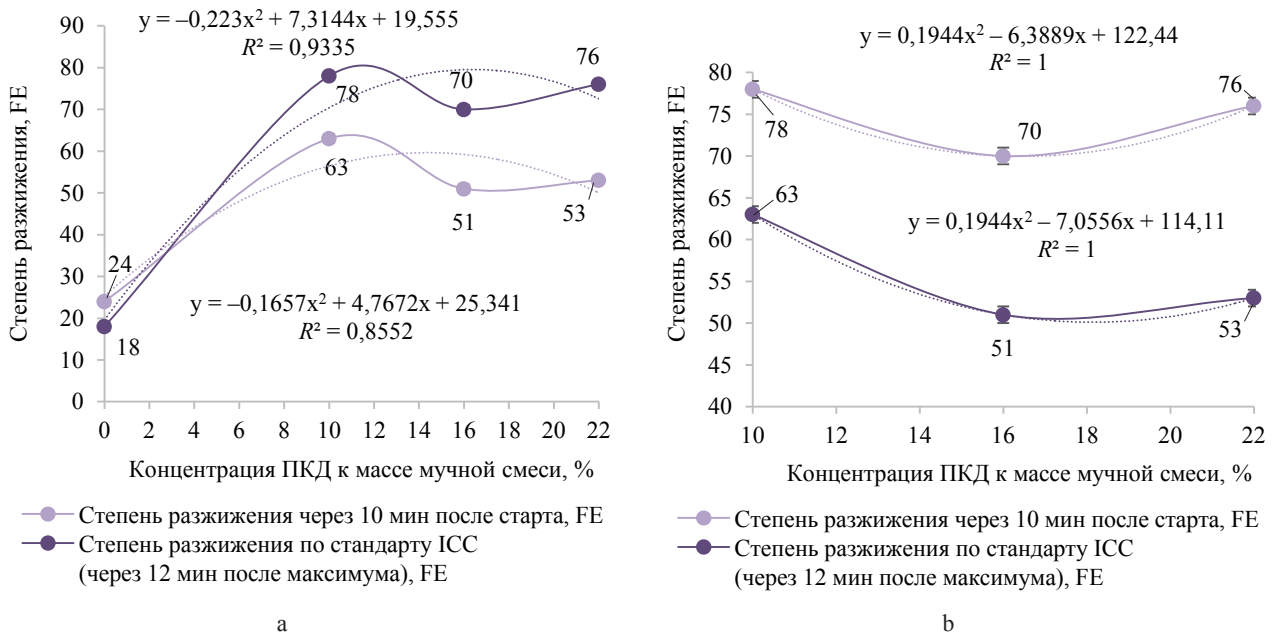

Рисунок 9. Влияние пищевой комплексной добавки на степень разжижения тестовых полуфабрикатов через 10 мин после старта и 12 мин после максимума: a – сравнение опытных образцов с контролем; b – сравнение между опытными образцами

Figure 9. Effect of the complex additive on the liquefaction of semi-finished bakery products 10 min after the start and 12 min after the maximum: a – test samples vs. control; b – comparative analysis of test samples

Внесение пищевой комплексной добавки в пшеничную муку высшего сорта приводило к понижению показателей устойчивости теста и качества фаринографа, а также повышению степеней разжижения (через 10 мин после старта и 12 мин после достижения максимума) по сравнению с пшеничной мукой высшего сорта без внесения пищевой комплексной добавки (рис. 8 и 9). Уравнения полиномиальной регрессии, описывающие данные изменения показателей по отношению к контролю, характеризовались более низкими величинами достоверной аппроксимации R^2, по сравнению с такой же величиной для уравнений полиномиальной регрессии, полученных при сравнении между собой данных опытных образцов.

Для определения взаимосвязи между показателями, характеризующими свойства клейковины, и показателями фаринографа был проведен корреляционный анализ. Диаграммы рассеяния, характеризующие зависимость между указанными показателями, приведены на рисунке 10.

В результате анализа экспериментальных данных установлено, что существовала статистически достоверная отрицательная зависимость между качеством сырой клейковины (ед. приб. ИДК-3М) и устойчивостью тестовых полуфабрикатов ($R = –0,98$, $P = 0,02$), а также показателем качества фаринографа ($R = –0,98$, $P = 0,02$). Наблюдалась статистически достоверная положительная зависимость между качеством сырой клейковины (ед. приб. ИДК-3М) и степенью разжижения теста через 12 мин после максимума ($R = 0,98$, $P = 0,02$). Полученные результаты подтверждают надежность данных, полученных с использованием фаринографа.

Выводы

В результате проведенных исследований изучено влияние пищевой комплексной добавки на реологические свойства пшеничного теста, водопоглощение и состояние белково-протеиназного комплекса мучных смесей.

Установлено, что внесение пищевой комплексной добавки в пшеничную муку высшего сорта в концентрациях 10 и 22 % к массе мучной смеси приводило к снижению показателя водопоглощения, скорректированного на базисную влажность мучных смесей 14,0 %, на 0,51 и 0,17 % соответственно по сравнению с контролем. Однако при концентрации 16 % указанный показатель равен контрольному.

При концентрациях пищевой комплексной добавки 10, 16 и 22 % к массе мучной смеси время образования теста сокращалось на 19,1, 19,5 и 39,7 % соответственно по сравнению со временем образования теста из пшеничной муки высшего сорта.

Изучено влияние пищевой комплексной добавки на свойства клейковины пшеничной муки высшего

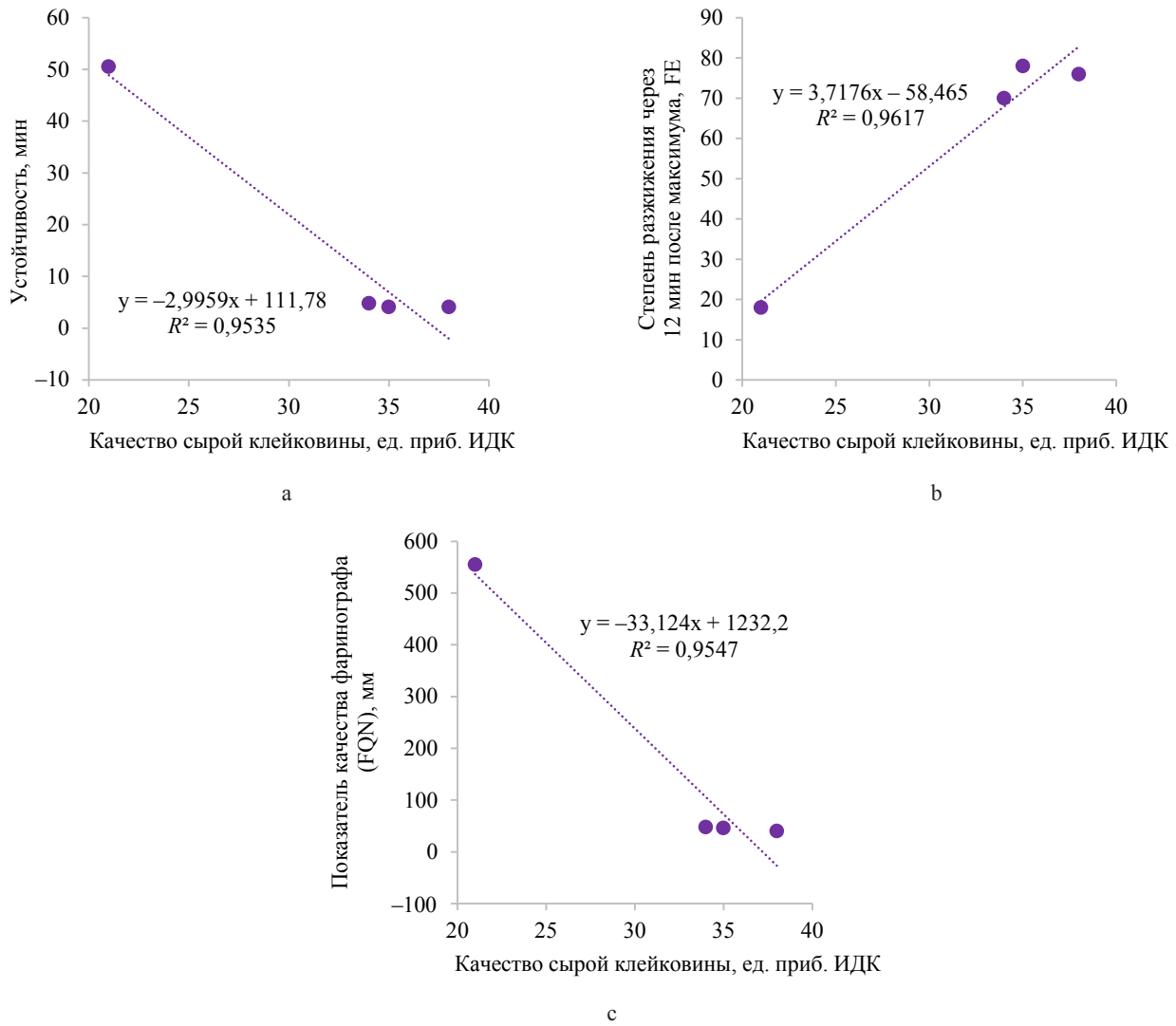

Рисунок 10. Диаграммы рассеяния, характеризующие зависимость между свойствами клейковины и показателями фаринографа

Figure 10. Scatterplots of gluten properties vs. farinograph parameters

сорта. При концентрациях пищевой комплексной добавки 10, 16 и 22 % к массе мучной смеси содержание сырой клейковины возрастало на 6,4, 2,0 и 0,4 % соответственно по сравнению с контролем. Содержание сухой клейковины при концентрации пищевой комплексной добавки 10 % к массе мучной смеси возрастало на 3,3 %, а при дозировках 16 и 22 % уменьшалось на 3,4 и 4,0 % соответственно по отношению к контролю. Показатель качества сырой клейковины по показаниям прибора ИДК-3М возрастал при концентрациях пищевой комплексной добавки 10, 16 и 22 % к массе мучной смеси на 66,7, 61,9 и 81 % соответственно по сравнению с контролем. Показатель влажности сырой клейковины при концентрациях пищевой комплексной добавки 10, 16 и 22 % к массе мучной смеси увеличивался на 2,4, 3,9 и 3,5 % соответственно по сравнению с контролем. Обнаружена отрицательная взаимосвязь между качеством клейковины (ед. приб. ИДК-3М) и временем образования теста (R = –0,91, P = 0,087).

Среди опытных образцов тестовых полуфабрикатов наибольшие показатели устойчивости теста и качества фаринографа, а также наименьшую степень разжижения теста (через 10 мин после старта и через 12 мин после максимума) имел образец с дозировкой пищевой комплексной добавки в количестве 16 % к массе мучной смеси.

Определена статистически достоверная отрицательная зависимость между качеством сырой клейковины (ед. приб. ИДК-3М) и устойчивостью тестовых полуфабрикатов (R = –0,98, P = 0,02), а также показателем качества фаринографа (R = –0,98,

P = 0,02). Установлена статистически достоверная положительная зависимость между качеством сырой клейковины (ед. приб. ИДК-3М) и степенью разжижения теста через 12 мин после максимума (R = 0,98, P = 0,02).

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 расчете количества воды на замес тестовых полуфабрикатов и определении продолжительности замеса. Для получения стандартной консистенции теста количество воды на замес тестовых полуфабрикатов с пищевой комплексной добавкой в концентрациях 10 и 22 % к массе мучной смеси следует снизить на 0,51 и 0,17 % соответственно от расчетного количества воды. Продолжительность замеса тестовых полуфабрикатов с пищевой комплексной добавкой в концентрациях 10, 16 и 22 % к массе мучных смесей должна составлять 2,08, 2,07 и 1,55 мин соответственно.

Целесообразно продолжить дальнейшие исследования в направлении изучения влияния пищевой комплексной добавки на газообразующую и газоудерживающую способности, а также на структурно-механические свойства тестовых полуфабрикатов в процессе брожения и расстойки.

Критерии авторства

А. В. Маслов – аналитический обзор литературных источников, проведение экспериментальных исследований, анализ экспериментальных данных, корректировка рукописи. З. Ш. Мингалеева и Т. А. Ямашев – администрирование и разработка концепции исследования, корректировка рукописи. Н. Ф. Шибаева – проведение экспериментальных исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Выражаем благодарность ООО «Брабендер» за возможность проведение исследований на приборе Farinograph-AT.

Contribution

A.V. Maslov reviewed research publications, performed the experimental research, analyzed the experimental data, and proofread the manuscript. Z.Sh. Mingaleeva and T.A. Yamashev developed the research concept and corrected the manuscript. N.F. Shibaeva performed the experimental studies.

Conflict of interest

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

Acknowledgements

The authors express their deepest gratitude to Brabender LLC for lending their Farinograph-AT device.

References/Список литературы

1. 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.

2. 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

3. Yamashev TA, Gematdinova VM, Kanarsky AV. The effect of oat beta-glucan isolate on the rheology of dough from premium wheat flour and the quality of bakery products. Processes and Food Production Equipment. 2020;44(2):62–75. (In Russ.). https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-62-75

4. Abedi E, Pourmohammadi K. The effect of redox agents on conformation and structure characterization of gluten protein: An extensive review. Food Science and Nutrition. 2020;8(12):6301–6319. https://doi.org/10.1002/fsn3.1937

5. Biesiekierski JR. What is gluten? Journal of Gastroenterology and Hepatology. 2017;32:78–81. https://doi.org/10.1111/jgh.13703

6. Liu N, Ma S, Li L, Wang X. Study on the effect of wheat bran dietary fiber on the rheological properties of dough. Grain and Oil Science and Technology. 2019;2(1):1–5. https://doi.org/10.1016/j.gaost.2019.04.005

7. Krekora M, Szymańska-Chargot M, Niewiadomski Z, Miś A, Nawrocka A. Effect of cinnamic acid and its derivatives on structure of gluten proteins – A study on model dough with application of FT-Raman spectroscopy. Food Hydrocolloids. 2020;107. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105935

8. Sahin M, Akcacik AG, Aydogan S, Hamzaoglu S, Demir B. Evaluation of grain yield, some quality traits and farinograph parameters in bread wheat genotypes grown in irrigated and rainfed. Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences. 2019;7(3):119–123. https://doi.org/10.22194/JGIASS/7.867

9. Akbar QA, Arif S, Yousaf S, Khurshid S, Sahar N. Effects of flour particle size on farinographic properties of wheat dough. Sarhad Journal of Agriculture. 2020;36(4):1136–1140. https://doi.org/10.17582/journal.sja/2020/36.4.1136.1140

10. Paula T, Gheorghe V, Gabriel-Alexandru C, Elena-Madalina S, Mariana-Gabriela M, Vasilica S. Aspects regarding the representation of farinographic curve to assess wheat flour dough by mathematical equations. INMATEH-Agricultural Engineering. 2021;64(2):385–392.

11. Onyango C, Luvitaa SK, Lagat K, K'osambo L. Impact of carrageenan copolymers from two red seaweed varieties on dough and bread quality. Journal of Applied Phycology. 2021;33(5):3347–3356. https://doi.org/10.1007/s10811-021-02524-x

12. Migliori M, Correra S. Modelling of dough formation process and structure evolution during farinograph test. International Journal of Food Science and Technology. 2013;48(1):121–127. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03167.x

13. Miś A, Nawrocka A, Dziki D. Behaviour of dietary fibre supplements during bread dough development evaluated using novel farinograph curve analysis. Food and Bioprocess Technology. 2017;10(6):1031–1041. https://doi.org/10.1007/s11947-017-1881-8

14. Stojceska V, Butler F. Digitization of farinogram plots and estimation of mixing stability. Journal of Cereal Science. 2008;48(3):729–733. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.04.001

15. Nie Y, Zhang P, Deng C, Xu L, Yu M, Yang W, *et al.* Effects of *Pleurotus eryngii* (mushroom) powder and soluble polysaccharide addition on the rheological and microstructural properties of dough. Food Science and Nutrition. 2019;7(6):2113–2122. https://doi.org/10.1002/fsn3.1054

16. Lachowicz S, Świeca M, Pejcz E. Biological activity, phytochemical parameters, and potential bioaccessibility of wheat bread enriched with powder and microcapsules made from Saskatoon berry. Food Chemistry. 2021;338. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128026

17. Biel W, Jaroszewska A, Stankowski S, Sobolewska M, Kępińska-Pacelik J. Comparison of yield, chemical composition and farinograph properties of common and ancient wheat grains. European Food Research and Technology. 2021;247(6):1525–1538. https://doi.org/10.1007/s00217-021-03729-7

18. Hassoon WH, Dziki D, Miś A, Biernacka B. Wheat grinding process with low moisture content: A new approach for wholemeal flour production. Processes. 2021;9(1). https://doi.org/10.3390/pr9010032

19. Istrate AM, Stroe SG, Gontariu I, Codină GG. Mixing and pasting characteristics of the pumpkin seeds-wheat flour blends. Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies. 2020;24(2):112–116.

20. Majeed M, Khan MU, Owaid MN, Khan MR, Shariati MA, Igor P, *et al.* Development of oyster mushroom powder and its effects on physicochemical and rheological properties of bakery products. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2021;6(5):1221–1227. https://doi.org/10.15414/jmbfs.2017.6.5.1221-1227

21. 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

22. Dubkova N, Kharkov V, Ziganshin B. Effect of mode amplitude on power consumption in vibrating mixer. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2021;362–369. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54817-9_42

23. Maeda T, Kokawa M, Nango N, Miura M, Araki T, Yamada M, *et al.* Development of a quantification method of the gluten matrix in bread dough by fluorescence microscopy and image analysis. Food and Bioprocess Technology. 2015;6(8):1349–1354. https://doi.org/10.1007/s11947-015-1497-9

24. Lefebvre J, Mahmoudi N. The pattern of the linear viscoelastic behaviour of wheat flour dough as delineated from the effects of water content and high molecular weight glutenin subunits composition. Journal of Cereal Science. 2007;45(1):49–58. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.005

25. Hammed AM, Ozsisli B, Ohm J-B, Simsek S. Relationship between solvent retention capacity and protein molecular weight distribution, quality characteristics, and breadmaking functionality of hard red spring wheat flour. Cereal Chemistry. 2015;92(5):466–474. https://doi.org/10.1094/CCHEM-12-14-0262-R

26. Chareonthaikij P, Uan-On T, Prinyawiwatkul W. Effects of pineapple pomace fibre on physicochemical properties of composite flour and dough, and consumer acceptance of fibre-enriched wheat bread. International Journal of Food Science and Technology. 2016;51(5):1120–1129. https://doi.org/10.1111/ijfs.13072

27. Rosa NN, Barron C, Gaiani C, Dufour C, Micard V. Ultra-fine grinding increases the antioxidant capacity of wheat bran. Journal of Cereal Science. 2013;57(1):84–90. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.10.002

28. Khadiulin R. Reading farinograms in flour parameter studies. Confectionery and Bakery Products. 2019;182(7–8):20–25. (In Russ.). [Хадиулин Р. Практикум по чтению фаринограмм при исследовании параметров муки // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2019. Т. 182. № 7–8. С. 20–25.].

29. Zaidul IS, Abd Karim A, Manan DMA, Ariffin A, Nik Norulaini NA, Mohd Omar AK. A farinograph study on the viscoelastic properties of sago/wheat flour dough systems. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2004;84(7):616–622. https://doi.org/10.1002/jsfa.1713

30. Lee L, Ng PKW, Whallon JH, Steffe JF. Relationship between rheological properties and microstructural characteristics of nondeveloped, partially developed, and developed doughs. Cereal Chemistry. 2001;78(4):447–452. https://doi.org/10.1094/CCHEM.2001.78.4.447

31. Mejía-Morales C, Rodríguez-Macías R, Salcedo-Pérez E, Zamora-Natera JF, Rodríguez-Zaragoza FA, Molina-Torres J, *et al.* Contrasting metabolic fingerprints and seed protein profiles of *Cucurbita foetidissima* and C. *radicans* fruits from feral plants sampled in central Mexico. Plants. 2021;10(11). https://doi.org/10.3390/plants10112451

32. Majesty D, Ijeoma E, Winner K, Prince O. Nutritional, anti-nutritional and biochemical studies on the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*. EC Nutrition. 2019;14(1):36–59.

33. Cornet SHV, Bühler JM, Gonçalves R, Bruins ME, van der Sman RGM, van der Goot AJ. Apparent universality of leguminous proteins in swelling and fibre formation when mixed with gluten. Food Hydrocolloids. 2021;120. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106788