



Научная статья

УДК 633.111.1:631.526.322

doi: 10.55186/25876740_2024_67_6_678

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБОГАЩЕНИЯ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ АНТОЦИАНАМИ НА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ КАЧЕСТВА ХЛЕБА ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

И.Н. Ворончихина¹, В.С. Рубец^{1,2}, В.В. Ворончихин¹, О.А. Щуклина¹,
В.Н. Игонин², В.В. Пыльнев³, В.С. Сидоренко⁴

¹Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук, Москва, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Москва, Россия

³Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

⁴Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур, Орёл, Россия

Аннотация. Работа выполнена в РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева и отделе отдаленной гибридизации Главного ботанического сада РАН (ГБС РАН) в 2022 г. В исследовании использованы сорта пшеницы мягкой яровой с фиолетовым зерном Памяти Коновалова, Иволга фиолетовая, Laval 19 и Надира. Стандартами были сорта с красным зерном Злата и Сударыня. Метеорологические условия, сложившиеся в год исследования, способствовали формированию крупного высококонатурного зерна с низкой стекловидностью и низким содержанием белка. В исследовании использовали общепринятые методы по оценке натурности зерна, стекловидности, содержания белка и сырой клейковины в зерне, массы 1000 зерен и лабораторной выпечки хлеба. В работе использованы четыре варианта муки: чистая белая, из цельнозернового зерна (шрот), чистая белая мука с добавлением 10 % отрубей и чистая белая мука с добавлением 10 % отрубей, обработанных в течение одной минуты в микроволновой печи для стабилизации цвета. Целью исследования было проведение сравнительной оценки потребительских свойств хлеба из муки с различным содержанием плодовых и семенных оболочек для обогащения рациона антоцианами. В процессе исследования не выявлено корреляционной зависимости между объемным выходом хлеба и содержанием белка в зерне ни в одном варианте опыта. Обнаружена тесная взаимосвязь между объемным выходом хлеба и содержанием сырой клейковины во всех вариантах за исключением выпечки из шрота. Хлеб из цельнозернового зерна имеет низкий объемный выход, хорошую формоустойчивость, низкую пористость мякиша и шоколадный цвет. Может быть использован для выпечки диетических хлебцев с целью обогащения рациона антоцианами. Наиболее привлекательными потребительскими свойствами обладает хлеб из чистой муки с добавлением 10 % отрубей. Ни в одном из вариантов выпечки фиолетовый оттенок хлеба не сохраняется.

Ключевые слова: пшеница, антоцианы, функциональное питание, хлеб, фиолетовое зерно

Благодарности: Исследование выполнено в рамках ГЗ ГБС РАН № 122042500074-5.

Original article

INFLUENCE OF METHODS OF ENRICHING WHEAT FLOUR WITH ANTHOCYANINS ON CONSUMER QUALITY OF BREAD FOR FUNCTIONAL FOOD

I.N. Voronchikhina¹, V.S. Rubets^{1,2}, V.V. Voronchikhin¹, O.A. Shchuklina¹,
V.N. Igonin², Pylnev³, V.S. Sidorenko⁴

¹The Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²All-Russian Scientific Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia

³Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia

⁴Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops, Oryol, Russia

Abstract. The work was carried out at Russian Timiryazev State Agrarian University and the Department of Distant Hybridization of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences in 2022. The study used the following varieties of soft spring wheat with purple grain: Pamyati Kononov, Ivolga Fioletovaya, Laval 19 and Nadira. The standards were the varieties with red grain: Zlata and Sudarynya. The meteorological conditions that developed in the year of the study contributed to the formation of large, high-natural grain with low vitreousness and low protein content. The study used generally accepted methods for assessing the natural grain, vitreousness, protein content and crude gluten in grain, the weight of 1000 grains and laboratory baking of bread. Four types of flour were used in the study: pure white, whole grain flour (meal), pure white flour with 10 % bran, and pure white flour with 10 % bran processed in a microwave oven for one minute to stabilize the color. The study was aimed at comparatively evaluating the consumer properties of bread made from flour with different contents of fruit and seed coats to enrich the diet with anthocyanins. The study did not reveal any correlation between the volumetric yield of bread and the protein content in the grain in any of the experimental variants. A close relationship was found between the volumetric yield of bread and the raw gluten content in all variants except for baking from meal. Whole grain bread has a low volumetric yield, good shape stability, low crumb porosity, and a chocolate color. It can be used for baking dietary crispbreads to enrich the diet with anthocyanins. The most attractive consumer properties are those of bread made from pure flour with the addition of 10 % bran. None of the baking options preserves the purple hue of the bread.

Keywords: wheat, anthocyanins, functional food, bread, purple grain

Acknowledgments: The study was carried out within the framework of the state assignment of the GBS RAS No. 122042500074-5.

Введение. Создание высокоурожайных сортов пшеницы помогло решить проблему голода в развивающихся странах мира, однако высокая урожайность не всегда связана с хорошим качеством зерна, что сильно сказалось на здоровье населения. В связи с этим, в настоящее время большое значение уделяется функциональному питанию человека, которое подразумевает включение в рацион биологически

активных компонентов, способных улучшать здоровье человека и снижать риск возникновения различных заболеваний [4].

Особый интерес для исследователей представляют антоцианы, обуславливающие окраску фруктов, овощей и зерна некоторых злаков. В Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включены два сорта яровой мягкой пшеницы Надира

и Памяти Коновалова [4]. Эти сорта характеризуются фиолетовой (часто называют пурпурной) окраской зерна, определяемой наличием антоцианов в нижнем слое перикарпия.

Антоцианы являются физиологически активными веществами, обладающими антиоксидантной активностью и полезные для животного организма, поскольку снижают содержание свободных радикалов [3, 9, 11]. Продукты питания,



Таблица 1. Образцы мягкой яровой пшеницы, включенные в изучение в 2022 г.
Table 1. Soft spring wheat samples included in the study in 2022

| № п/п | Название сорта | Разно-видность | Происхождение |
|-------|-------------------|------------------|--|
| 1 | Памяти Коновалова | <i>uralicum</i> | ФГБНУ «ФНЦ зернобобовых и крупяных культур» |
| 2 | Иволга фиолетовая | <i>vigorovii</i> | РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева |
| 3 | Laval 19 | <i>uralicum</i> | Канада, Квебек |
| 4 | Надира | <i>vigorovii</i> | «Казанский научный центр РАН» (ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН) |
| 5 | Злата | <i>lutescens</i> | ФИЦ «Немчиновка», Верхневолжский ФАНЦ |
| 6 | Сударыня | <i>lutescens</i> | Верхневолжский ФАНЦ |

Таблица 2. Результаты измерений урожайности, массы 1000 зерен, натуре и общей стекловидности
Table 2. Results of measurements of yield, 1000-grain weight, natural weight and total vitreousness

| № п/п | Название сорта | Масса 1000 зерен, г | Натура зерна, г/л | Общая стекловидность, % |
|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|
| 1 | Памяти Коновалова | 46,2 | 796 | 8,2 |
| 2 | Иволга Фиолетовая | 40,3 | 791 | 14,5 |
| 3 | Laval 19 | 44,2 | 803 | 28,5 |
| 4 | Надира | 48,0 | 829 | 30,0 |
| 5 | Злата (st) | 44,5 | 809 | 33,0 |
| 6 | Сударыня (st) | 46,0 | 810 | 34,2 |
| HCP ₀₅ | - | 1,0 | 17 | 4,3 |

содержащие физиологически активные вещества являются объектом интереса для здорового питания [2, 7, 10]. Наличие антоцианов в перикарпии затрудняет эту задачу поскольку плодовая оболочка при размоле зерна отходит в отруби. Отруби можно использовать для корма животным как высокобелковую добавку, поскольку они содержат алейновый слой. Однако для питания человека требуется отыскать способ обогащения муки антоцианами путем разнообразных добавок и способов помола зерна.

Мука из цельнозернового зерна содержит все компоненты в том числе и антоцианы. Однако рецептура выпечки из такой муки должна быть специально разработана. Можно проводить обогащение муки путем добавления отрубей, содержащих антоциан. При этом, необходимо чтобы хлебобулочные изделия имели привлекательный вид для потребителей. Возможно, что фиолетово-окрашенные отруби придадут соответствующий оттенок готовому хлебу. Выявления рецептуры, при которой хлеб имеет максимальные потребительские свойства (внешний вид, вкус) обусловило выполнение данной работы.

Цель исследования. Провести сравнительную оценку потребительских свойств пшеничного хлеба из муки фиолетовозерных сортов пшеницы с различным содержанием плодовых и семенных оболочек.

Материал, методы и условия проведения исследований. В качестве материала для исследования использовали четыре сорта пшеницы мягкой яровой с пурпурной окраской зерна (табл. 1). В исследовании использовали два стандарта — Злата и Сударыня. Зерно данных сортов размалывали двумя способами: чистую белую муку получали на лабораторной мельнице «Quadrumat Junior» фирмы Brabender. Муку из цельнозернового зерна — на мельнице ЛМТ-1. Использовали четыре варианта муки: мука чистая сортового помола с 70 % выходом (далее — чистая мука), мука из цельнозернового зерна, содержащая как плодовые, так и семенные оболочки с антоцианами (шрот), мука чистая

с добавлением отрубей 10 % по массе (мука с отрубями). Причем использовали отруби, полученные при помоле собственного сорта [7]. Четвертый вариант муки с отрубями, предварительно обработанными в течение одной минуты в микроволновой печи. Этот способ использовали по аналогии с другими рецептурами для закрепления окраски [1]. Предполагалось, что такая предобработка отрубей позволит получить хлеб с привлекательным фиолетовым оттенком.

Работа проведена в 2022 г. на Полевой опытной станции, кафедре Генетики селекции и семеноводства РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева и технологической лаборатории ГБС РАН. Содержание белка в зерне определяли на спектрофотометре Спектран-ИТ, клейковину отмывали стандартным способом вручную. Качество клейковины определяли на приборе ИДК-ЗМ. Использованное зерно оценивали по массе 1000 зерен и натуре общепринятыми методами [6]. Стекловидность определяли путем просеивания на Диафаноскопе. Оценка качества выпеченного хлеба проводили по шкале, разработанной Е.М. Белоусовой для лабораторной выпечки. Полученные результаты были обработаны однофакторным, двухфакторным, и корреляционным анализами [5].

Метеорологические условия в 2022 г. способствовали формированию крупного зерна, но во второй декаде июля наблюдалась жесткая засуха при высокой температуре, которая привела к «запалу» зерна в результате чего зерно сформировалось щуплым с низкой стекловидностью.

Результаты и обсуждение. Зерно, использованное для анализа, характеризовалось следующими физическими свойствами (табл. 2). Все сорта сформировали крупное зерно с высокой массой 1000. Сильнее всего выделяется сорт Надира с массой 1000 семян 48 г. Сорт Памяти Коновалова также сформировал крупное зерно на уровне стандарта Сударыня. Наиболее мелким зерном характеризовались сорта Иволга фиолетовая и Laval 19. Тем не менее масса 1000 семян

у них превышала 40 г, что для яровой пшеницы является высокими значениями в условиях ЦРНЗ.

Зерно у всех опытных сортов характеризовалось высокими значениями натуре. Из них сильнее всего выделяется сорт Надира с рекордным значением 829 г/л. Сорт Laval 19 и оба стандарта также имели высокую натуре свыше 800 г/л. Однако такое крупное высококонтурное зерно характеризовалось низкой стекловидностью. У сортов Памяти Коновалова и Иволга фиолетовая стекловидность не превысила 15 %. Только у сортов Надира, Злата и Сударыня значения показателя варьировали в пределах 30-34 %. Это были максимальные значения для условий 2022 г.

У зерна опытных образцов были определены биохимические свойства, косвенно определяющие хлебопекарные свойства (табл.3). Содержание белка в зерне у всех сортов было низким (11,1 — 12,4 %). Зерно сортов Памяти Коновалова и Laval 19 характеризовалось достоверно более высокими значениями чем все остальные сорта. Такое количество белка не является оптимальным для хлебопекарной пшеницы (ниже 14 %).

По содержанию сырой клейковины выделялись стандарты, значения которых соответствовало уровню сильной по качеству пшенице. Зерно сорта Надира соответствовало ценной по качеству пшенице, зерно сорта Laval 19 — пшенице-филлеру, Памяти Коновалова и Иволга фиолетовая — слабой по качеству пшенице. Однако клейковина всех исследуемых сортов характеризовалась оптимальной растяжимостью и упругостью и соответствовала первой группе качества (табл. 3).

Рассмотрим результаты лабораторной выпечки хлеба из муки с различным содержанием оболочек зерна (табл. 4). В опыте учтено два фактора — сорт и тип муки. Рассмотрим каждый фактор отдельно. Установлено, что в зависимости от состава муки объемный выход хлеба сильно варьируется. При выпечке из чистой муки сортового помола сорта Laval 19, Злата и Сударыня достоверно превышают все остальные. Сорт Надира имеет объемный выход средний между

Таблица 3. Содержание и качество белка в зерне яровой пшеницы
Table 3. Protein content and quality in spring wheat grain

| Название образца | Содержание, % | | Растяжимость, см | ИДК | Группа качества |
|-------------------|---------------|------------------|------------------|------|-----------------|
| | белка | сырой клейковины | | | |
| Памяти Коновалова | 12,4 | 19,4 | 12,3 | 53,0 | I |
| Иволга фиолетовая | 11,2 | 19,7 | 12,5 | 61,5 | I |
| Laval 19 | 12,4 | 24,0 | 16,8 | 59,0 | I |
| Надира | 11,2 | 26,2 | 14,3 | 60,9 | I |
| Злата (st) | 12,0 | 28,0 | 15,5 | 67,2 | I |
| Сударыня (st) | 11,1 | 28,6 | 11,0 | 45,5 | I |
| HCP ₀₅ | 0,8 | 8,3 | - | - | - |

Таблица 4. Объемный выход хлеба из муки с разным содержанием оболочек зерна
Table 4. Volumetric yield of bread from flour with different content of grain husks

| Сорт (фактор А) | Типы муки (фактор В) | | | | HCP ₀₅ по фактору В (тип муки) |
|---------------------------------------|----------------------|-------|-----------------|-----------------------------------|---|
| | Мука чистая | Шрот | Мука с отрубями | Мука с отрубями, обработанных СВЧ | |
| Памяти Коновалова | 375,0 | 347,5 | 580,0 | 515,0 | 119,8 |
| Иволга фиолетовая | 357,5 | 367,5 | 500,0 | 482,5 | |
| Laval 19 | 562,5 | 330,0 | 585,0 | 475,0 | |
| Надира | 487,5 | 277,5 | 652,5 | 557,5 | |
| Злата (st) | 555,0 | 355,0 | 690,0 | 527,5 | |
| Сударыня (st) | 542,5 | 377,5 | 647,5 | 645,0 | |
| HCP ₀₅ по фактору А (сорт) | 31,9 | | | | |





минимальным и максимальным, и достоверно отличается от них. Сорта Памяти Коновалова и Иволга фиолетовая показали наименьший результат. Корреляционный анализ между содержанием белка и объемным выходом хлеба не выявил взаимосвязи между этими показателями ($r=0,094$). Однако, между содержанием клейковины и объемным выходом хлеба установлена высокая достоверная положительная связь ($r=0,870^*$)

Шрот для целей функционального питания представляет собой наиболее интересный тип муки, поскольку содержит все компоненты зерна, в том числе антоцианы перикарпия. Шрот также содержит биологически активные вещества зародыша. С точки зрения биологической полноценности шрот является наиболее желательным типом муки. Однако, данный вариант выпечки из цельнозернового зерна показал резкое снижение объемного выхода у всех образцов. Не выявлено корреляционной связи между объемным выходом хлеба и содержанием белка ($r=-0,022$) и содержанием сырой клейковины ($r=-0,087$). Причин низкого объемного выхода может быть несколько. Мука из цельнозернового зерна содержит все части зерновки — мелкоразмолотые плодовые оболочки, семенные оболочки, зародыш, эти части зерна отсутствуют в чистой муке. В этих частях зерна содержится высокое количество клетчатки, зольных веществ. В алейроновом слое сконцентрированы в инактивированном состоянии ферменты, запасенные зерновкой на случай прорастания семян. При приготвлении теста создаются условия, при которых гидролитические ферменты теста начинают активно функционировать. При этом запасные высокомолекулярные соединения (белок, крахмал, гемицеллюлозы) расщепляются на более простые соединения, они больше не могут присоединять воду, а также не могут формировать качественную клейковину,

способную удерживать газ. В итоге это приводит к тому, что тесто плохо поднимается, имеет небольшую пористость, и в итоге низкий объемный выход хлеба. Окраска получившегося хлеба различается у изученных сортов.

По литературным данным [2] хлеб из цельнозернового зерна сорта Надира имел видимый фиолетовый оттенок. В наших опытах хлеб из цельнозернового зерна сортов Памяти Коновалова, Иволги фиолетовой и Laval 19 имел шоколадный цвет без признаков фиолетового оттенка. Сорт Надира имел хлеб более светлый, сходный со стандартом Злата. Самый светлый оттенок имел — хлеб из сорта-стандарта Сударыня (рис. 1). По показателю формоустойчивости подового хлеба в этом варианте выпечки не произошло изменений в сравнении с чистой мукой только у сорта Памяти Коновалова (табл. 5, табл. 6). Остальные сорта имели пониженную формоустойчивость в сравнении с вариантом выпечки из белой муки. В целом, хлеб из цельнозернового зерна по внешнему виду напоминает хлеб марки «Бородинский». Среди всех сортов наименьшим объемным выходом хлеба характеризовался сорт Надира. Все остальные сорта имели объемный выход достоверно выше и не различались между собой. Таким образом, внешний вид хлеба как потребительское качество в данном варианте больше соответствует диетическому продукту не слишком привлекательного для основного потребителя.

При добавлении в белую муку 10% отрубей резко увеличился объемный выход хлеба у всех сортов. Причиной этого явления может быть увеличение в муке амиллолитических ферментов, повышающих содержание сахара, что приводит к возрастанию газообразующей способности. Из литературных данных известно, что добавление 10% отрубей в белую муку дает оптимальные результаты по объемному выходу хлеба [3]. В этом варианте выпечки максимально

и достоверно превышающий остальные сорта объемный выход хлеба был получен для сортов Надира, Злата и Сударыня. На втором месте сорта Памяти Коновалова и Laval 19 — у них также высокий объемный выход, соответствующий 5 баллам по шкале оценки хлебопекарных качеств [8]. Самый низкий показатель у сорта Иволга фиолетовая, соответствующий 4 баллам по шкале оценки. Для этого варианта выпечки, как и для контроля характерно отсутствие объемного выхода с содержанием белка ($r=-0,015$) и наличие высокой достоверной связи с содержанием сырой клейковины ($r=0,873^*$). Неожиданно в этом варианте выпечки у всех сортов, за исключением сорта Злата, понизилась формоустойчивость подового хлеба (с 5 баллов до 2 баллов) у сортов Памяти Коновалова, Иволга фиолетовая и Laval 19 (табл. 7, рис. 1). У сортов Надира и Сударыня показатель формоустойчивости в этом варианте оказался ниже, чем в варианте с чистой мукой, но не существенно (значение соответствует 5 баллам шкалы оценки).

Цвет мякиша хлеба в данном варианте был сероватым, соответствующим типичному хлебу с отрубями. Фиолетовых оттенков не наблюдалось (рис. 1). Таким образом, наиболее привлекательный формовой хлеб получился в варианте выпечки из муки с отрубями, однако булочки из такого хлеба выпекать не следует, поскольку они плохо держат форму.

В варианте с обработкой отрубей в СВЧ объемный выход хлеба большинства сортов был приблизительно таким же как в варианте с чистой мукой (табл. 4). У сорта Памяти Коновалова и Иволга фиолетовая объемный выход хлеба в этом варианте достоверно превышал показатели варианта с чистой мукой (табл. 5, табл. 8). У сортов Laval 19, Надира, Злата и Сударыня различия между вариантом с чистой мукой и вариантом с обработанными отрубями были в пределах наименьшей существенной разности 05.

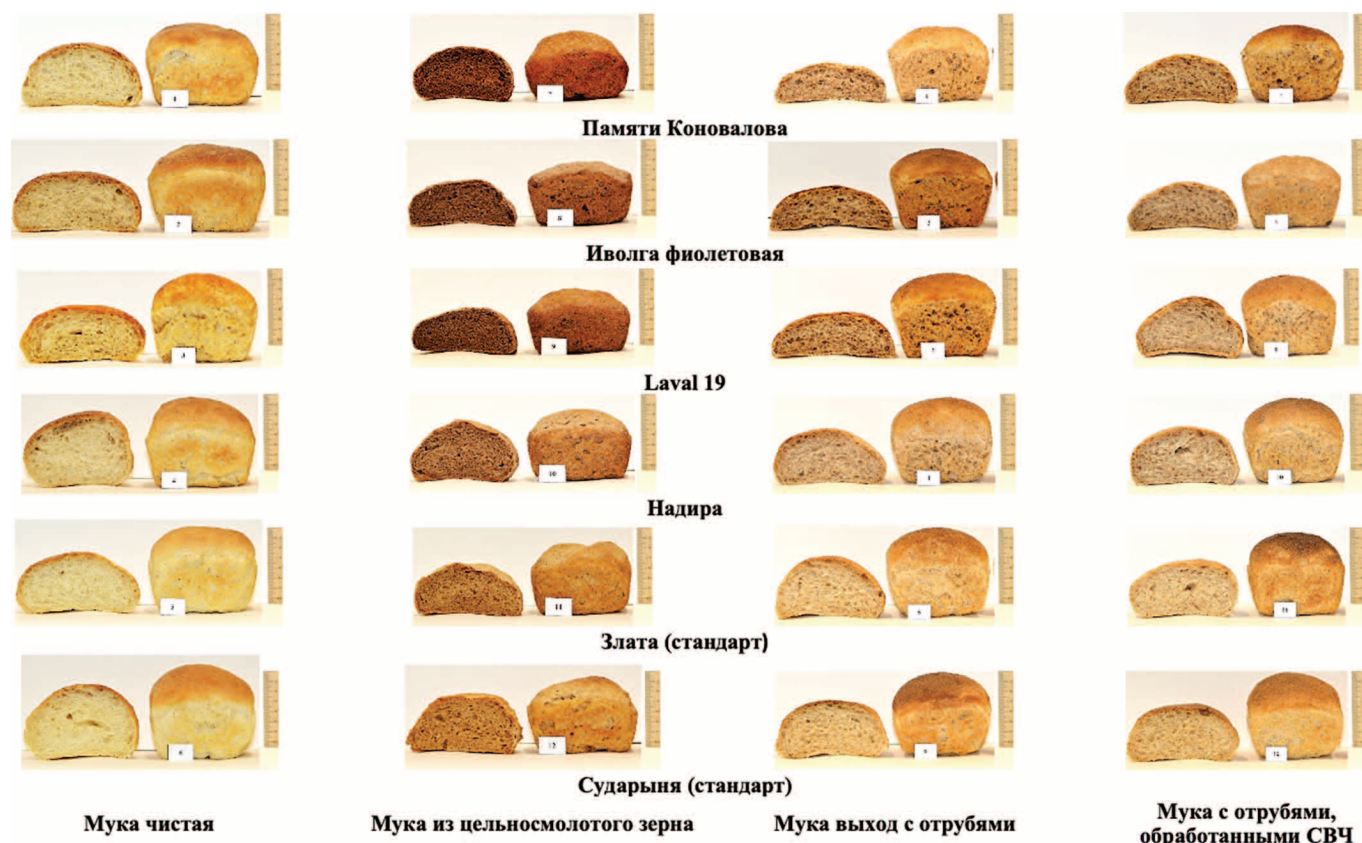


Рисунок 1. Внешний вид хлеба, выпеченного из муки с различным содержанием оболочек зерна
Figure 1. Appearance of bread baked from flour with different grain husk content



Возможно, обработка СВЧ привела к разрушению части белков, в том числе гидролитических ферментов. Поэтому они не оказали такого благоприятного влияния на газообразующую способность. Выявлено наличие средней отрицательной корреляции между объемным выходом и содержанием белка ($r=-0,564$) и средняя положительная корреляция с содержанием клейковины ($r=0,674$). Надежды на сохранение фиолетовой окраски отрубей в данном варианте не оправдались. Хлеб был сероватого цвета, характерный для батона с отрубями без фиолетового оттенка. Формоустойчивость подового хлеба в данном варианте у сортов Памяти Коновалова, Laval 19, Злата была на уровне варианта выпечки

из белой муки. У сортов Иволга фиолетовая, Надира и Сударыня — значительно ниже. Возможно, что у последних СВЧ оказала менее губительное влияние на ферменты.

Общая хлебопекарная оценка, полученная в варианте с чистой мукой, который использовался как контроль, показала, что сорта Памяти Коновалова и Иволга фиолетовая соответствуют средней по качеству пшенице, Laval 19 и Надира — ценной по качеству, а стандарты — сильной (табл. 5).

Общая хлебопекарная оценка (ОХО) всех вариантов показала, что в варианте со шротом у все сортов общая хлебопекарная оценка понизилась и все сорта стали соответствовать

средней по качеству пшенице (филлеру) (табл. 6). Возможно, что в этом случае решающее значение было в пониженных пористости мякиша и вкусе. Общая хлебопекарная оценка из муки с отрубями сортов Памяти Коновалова, Иволга фиолетовая и Laval 19 соответствовала средней по качеству пшенице несмотря на высокой объемный выход. Сорта Надира и Сударыня получили оценку как ценная пшеница, Злата — сильная (табл. 7). В последнем варианте выпечки из муки с отрубями, отработанными в СВЧ сорта Памяти Коновалова и Иволга фиолетовая соответствовали средней по качеству пшенице, Laval 19, Надира и Злата соответствовали ценной по качеству пшенице, а Сударыня — сильной (табл. 8).

Таблица 5. Лабораторная оценка качества хлеба из чистой муки пшеницы
Table 5. Laboratory evaluation of the quality of bread from pure wheat flour

| № п/п | Название образца | Масса теста, г | Объемный выход хлеба, мл | | Формоустойчивость | | Поверхность | Форма | Цвет корки | Пористость мякиша | Цвет мякиша | Структура мякиша | Вкус | Аромат | Средний балл |
|-------------------|-------------------|----------------|--------------------------|------|-------------------|------|-------------|-------|------------|-------------------|-------------|------------------|------|--------|--------------|
| | | | среднее | балл | h/d | балл | | | | | | | | | |
| 1 | Памяти Коновалова | 82,7 | 375,0 | 1 | 0,51 | 5 | 3 | 3,5 | 3,5 | 2 | 3 | 5 | 3,8 | 4,3 | 3,4 |
| 2 | Иволга фиолетовая | 81,3 | 357,5 | 1 | 0,47 | 5 | 3 | 3,5 | 3,5 | 3 | 3 | 5 | 4,4 | 4,6 | 3,6 |
| 3 | Laval 19 | 83,0 | 562,5 | 5 | 0,49 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3,9 | 3,6 | 4,1 |
| 4 | Надира | 83,0 | 487,5 | 3 | 0,71 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4,5 | 5 | 4,3 | 4,1 | 4,3 |
| 5 | Злата (st) | 82,7 | 555,0 | 5 | 0,47 | 5 | 4 | 4,5 | 4,7 | 5 | 4,5 | 5 | 4,2 | 4,1 | 4,6 |
| 6 | Сударыня (st) | 81,7 | 542,5 | 4 | 0,69 | 5 | 4,5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4,6 | 4,4 | 4,8 |
| НСР ₀₅ | | - | 43,2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Таблица 6. Лабораторная оценка качества хлеба из шрота
Table 6. Laboratory evaluation of the quality of bread from meal

| № п/п | Название образца | Масса теста, г | Объемный выход хлеба, мл | | Формоустойчивость | | Поверхность | Форма | Цвет корки | Пористость мякиша | Цвет мякиша* | Структура мякиша | Вкус | Аромат | Средний балл |
|-------------------|-------------------|----------------|--------------------------|------|-------------------|------|-------------|-------|------------|-------------------|--------------|------------------|------|--------|--------------|
| | | | среднее | балл | h/d | балл | | | | | | | | | |
| 1 | Памяти Коновалова | 80,0 | 347,5 | 1 | 0,51 | 5 | 3 | 2,5 | 3,5 | 2 | 5 | 5 | 3,4 | 4,6 | 3,5 |
| 2 | Иволга фиолетовая | 81,6 | 367,5 | 1 | 0,40 | 4 | 2 | 2,5 | 3 | 2 | 4 | 5 | 3,5 | 4,6 | 3,2 |
| 3 | Laval 19 | 81,7 | 330,0 | 1 | 0,41 | 4 | 2 | 2,5 | 4 | 2 | 5 | 5 | 3,3 | 3,9 | 3,3 |
| 4 | Надира | 82,7 | 277,5 | 1 | 0,58 | 5 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 3,1 | 4,3 | 3,2 |
| 5 | Злата (st) | 82,0 | 355,0 | 1 | 0,46 | 5 | 3 | 3 | 3,5 | 3 | 3 | 4 | 4,5 | 4,2 | 3,4 |
| 6 | Сударыня (st) | 82,7 | 377,5 | 1 | 0,54 | 5 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4,2 | 4,5 | 3,5 |
| НСР ₀₅ | | - | 40,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

* — высший балл присвоен наиболее темному мякишу, поскольку речь идет о наличии антоцианов (чем темнее, тем лучше)

Таблица 7. Лабораторная оценка качества хлеба из муки с отрубями
Table 7. Laboratory evaluation of the quality of bread made from bran flour

| № п/п | Название образца | Масса теста, г | Объемный выход хлеба, мл | | Формоустойчивость | | Поверхность | Форма | Цвет корки | Пористость мякиша | Цвет мякиша | Структура мякиша | Вкус | Аромат | Средний балл |
|-------------------|-------------------|----------------|--------------------------|------|-------------------|------|-------------|-------|------------|-------------------|-------------|------------------|------|--------|--------------|
| | | | среднее | балл | h/d | балл | | | | | | | | | |
| 1 | Памяти Коновалова | 83,0 | 580,0 | 5 | 0,34 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 4,5 | 5 | 4,0 | 4,3 | 3,7 |
| 2 | Иволга фиолетовая | 83,6 | 500,0 | 4 | 0,33 | 2 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 5 | 4,4 | 4,1 | 3,6 |
| 3 | Laval 19 | 85,0 | 585,0 | 5 | 0,31 | 2 | 3 | 4,2 | 4 | 2 | 4 | 5 | 4,0 | 3,9 | 3,7 |
| 4 | Надира | 85,6 | 652,5 | 5 | 0,45 | 5 | 3,5 | 4,5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 4,6 | 4,6 | 4,3 |
| 5 | Злата (st) | 85,6 | 690,0 | 5 | 0,58 | 5 | 3,5 | 4,5 | 4 | 3 | 5 | 5 | 4,8 | 4,9 | 4,5 |
| 6 | Сударыня (st) | 83,7 | 647,5 | 5 | 0,54 | 5 | 3,5 | 4,5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 4,6 | 4,5 | 4,3 |
| НСР ₀₅ | | - | 39,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Таблица 8. Лабораторная оценка качества хлеба из муки с отрубями, обработанными в микроволновой печи
Table 8. Laboratory evaluation of the quality of bread made from bran flour processed in a microwave oven

| № п/п | Название образца | Масса теста, г | Объемный выход хлеба, мл | | Формоустойчивость | | Поверхность | Форма | Цвет корки | Пористость мякиша | Цвет мякиша | Структура мякиша | Вкус | Аромат | Средний балл |
|-------------------|-------------------|----------------|--------------------------|------|-------------------|------|-------------|-------|------------|-------------------|-------------|------------------|------|--------|--------------|
| | | | среднее | балл | h/d | балл | | | | | | | | | |
| 1 | Памяти Коновалова | 84,2 | 515,0 | 4 | 0,47 | 5 | 3 | 3,5 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3,8 | 4,3 | 3,9 |
| 2 | Иволга фиолетовая | 83,7 | 482,5 | 3 | 0,40 | 4 | 2,5 | 3 | 4 | 3 | 3 | 5 | 4,0 | 4,1 | 3,6 |
| 3 | Laval 19 | 80,7 | 475,0 | 3 | 0,48 | 5 | 3 | 4,5 | 4 | 3,5 | 4,5 | 5 | 4,0 | 4,4 | 4,1 |
| 4 | Надира | 84,3 | 557,5 | 5 | 0,52 | 5 | 3 | 4,5 | 4 | 3,5 | 4,5 | 5 | 4,3 | 4,4 | 4,3 |
| 5 | Злата (st) | 83,3 | 525,5 | 4 | 0,47 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3,5 | 4,5 | 5 | 4,1 | 4,2 | 4,1 |
| 6 | Сударыня (st) | 83,3 | 645,0 | 5 | 0,45 | 5 | 4 | 4,5 | 4 | 4 | 5 | 4,5 | 4,3 | 4,9 | 4,5 |
| НСР ₀₅ | | - | 34,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |



**Выводы.**

1. Не выявлено корреляционной зависимости между объемным выходом хлеба и содержанием белка в зерне ни в одном варианте опыта. Обнаружена тесная взаимосвязь между объемным выходом хлеба и содержанием сырой клейковины во всех вариантах за исключением выпечки из шрота.
2. Хлеб из цельнозернового зерна имеет низкий объемный выход, хорошую формоустойчивость, низкую пористость мякиша и шоколадный цвет. Может быть использован для выпечки диетических хлебцев с целью обогащения рациона антоцианами.
3. Наиболее привлекательными потребительскими свойствами обладает хлеб из чистой муки с добавлением 10% отрубей.
4. Ни в одном из вариантов выпечки фиолетовый оттенок хлеба не сохраняется.

Список источников

1. Бобков В.С., Полякова М.Н., Мелешин А.А., Ворончихина И.Н. Влияние добавки муки из корнеклубней сортов батата (*Ipomoea batatas* lam.) с окрашенной мякотью на хлебопекарные и потребительские качества пшеничного хлеба // Овощи России. 2022. № 3. С. 76-81. DOI: 10.18699/VJ17.25-0.
2. Василюва Н.З., Асхадуллин Д.Ф. Фиолетово-зерный сорт яровой мягкой пшеницы Надира // Зерновые и крупяные культуры. 2021. № 4(40). С. 66-75. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-4-66-75.
3. Ворончихина И.Н., Сидоренко В.С., Рубец В.С., Пыльнев В.В., Игонин В.Н., Ворончихин В.В., Груздев И.В. Оценка качества зерна сортов яровой пшеницы с фиолетовой окраской зерна в условиях ЦРНЗ // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2022. № 6. С. 54-66. DOI: 10.26897/0021-342X-2022-6-54-66.
4. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: ФГБНУ «Росинформатех», 2022. 719 с.
5. Доспехов Б.А. Методика опытного дела. М.: Колос, 1973. 336 с.
6. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып.2. Зерновые, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М.: Колос, 1971. 239 с.

Информация об авторах:

- Ворончихина Ирина Николаевна**, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9569-2852>, yarinkapanfilova@gmail.com
- Рубец Валентина Сергеевна**, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, главный ботанический сад имени Н.В. Цицина; ведущий научный сотрудник Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1870-7242>, Valentina.rubets50@gmail.com
- Ворончихин Виктор Викторович**, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5763-0877>, vitya.voronchihin@gmail.com
- Щуклина Ольга Александровна**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, главный ботанический сад имени Н.В. Цицина, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3775-6077>, Oashuklina@gmail.com
- Игонин Владимир Николаевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8218-4285>, selection@rgau-msha.ru
- Пыльнев Владимир Валентинович**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры генетики и семеноводства, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева ORCID: <http://orcid.org/0000-003-0400-0609>, PYL8@yandex.ru
- Сидоренко Владимир Сергеевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по селекционной работе, Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур, office@vniizbk.orel.ru

Information about the authors:

- Irina N. Voronchikhina**, candidate of biological sciences, researcher in Distant hybridization department, The Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9569-2852>, yarinkapanfilova@gmail.com
- Valentina S. Rubets**, doctor of biological sciences, professor, leading researcher in Distant hybridization department, The Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences; leading researcher, All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1870-7242>, Valentina.rubets50@gmail.com
- Viktor V. Voronchikhin**, candidate of agricultural sciences, researcher in the Distant hybridization department, The Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5763-0877>, vitya.voronchihin@gmail.com
- Olga A. Shchulina**, candidate of agricultural sciences, senior researcher in Distant hybridization department, The Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3775-6077>, Oashuklina@gmail.com
- Vladimir N. Igonin**, candidate of agricultural sciences, senior researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Agricultural Biotechnology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8218-4285>, selection@rgau-msha.ru
- Vladimir V. Pylnev**, doctor of biological sciences, professor, professor of Genetics, Plant Breeding and Seed Production, Russian Timiryazev State Agrarian University, ORCID: <http://orcid.org/0000-003-0400-0609>, PYL8@yandex.ru
- Vladimir S. Sidorenko**, candidate of agricultural sciences, Deputy Director for Breeding, Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops, office@vniizbk.orel.ru