

Исследование влияния низкотемпературной обработки на зерно пшеницы

Артём Сергеевич Ануров

Российский биотехнологический университет
Москва, Россия
anurov.artiom@mail.ru
ORCID 0009-0007-4147-7453

Наталья Васильевна Лабутина

Доктор технических наук
Российский биотехнологический университет
Москва, Россия
labutinav@mail.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Денис Максимович Колмыков

Российский биотехнологический университет
Москва, Россия
kolmykowdenis@mail.ru
ORCID 0009-0002-1565-5387

Поступила в редакцию 12.04.2023

Принята 15.06.2023

Опубликована 15.09.2023

УДК 633.11:662.767

EDN EEBPEL

ВАК 4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

OECD 02.11.JY FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

Аннотация

Низкотемпературная обработка – перспективное направление в мировой пищевой промышленности. Метод используются для производства хлеба и хлебобулочных изделий, позволяя продлить срок хранения и обеспечить возможность транспортировки продукта в замороженном виде. В России цельнозерновые хлебобулочные изделия всё более востребованы благодаря высокой энергетической ценности, витаминам, минералам и растительным волокнам, содержащимся в зерне. Низкотемпературная обработка способствует сохранению этих качеств при производстве хлебобулочных изделий из цельного зерна. Благодаря процессу низкотемпературной обработки зерна можно получить зерновой полуфабрикат, из которого готовят цельнозерновые хлебобулочные изделия. Однако особенности влияния низкотемпературной обработки на зерно до сих пор не были изучены. С целью их изучения был проведён ряд исследований. Для начала определили оптимальное время замачивания зерна, затем зерна подвергали низкотемпературной обработке со снятием показателей изменения температур в ходе замораживания и размораживания. По результатам исследования было определено, что минимальное время замачивания зерна пшеницы «Орловское 32» составляет 16 часов. Показательные графики, построенные после низкотемпературной обработки зерна, показали, что начиная с 3-го цикла фазовый переход проходит со значительным снижением разницы температуры и скорости замораживания, но при каждом новом цикле скорость начала замораживания увеличивается. По результатам исследования была выдвинута и рассмотрена гипотеза о криогенном разрушении веществ зерна пшеницы при замораживании и размораживании в несколько циклов.

Ключевые слова

зерно, зерновое сырьё, заморозка, дефростация, разрушение.

Введение

Одним из перспективных и развивающихся направлений в мировой пищевой промышленности является низкотемпературная обработка зернового сырья. В настоящее время данное направление широко изучается и используется в технологии производства хлеба и хлебобулочных изделий (Лабутина, 2004). Благодаря методу низкотемпературной обработки стало возможным как продлить срок хранения, так и обеспечить возможность транспортировки хлебопродуктов на удалённые точки реализации в замороженном виде (Герасимова, 2019).

Кроме того, в последние годы в России всё более востребованными становятся цельнозерновые хлебобулочные изделия с включением зёрен с зародышем и семенными оболочками пшеницы. Такой хлеб обладает высокой энергетической ценностью, содержат витамины, минеральные вещества и растительные волокна (Грязина, 2015). При этом экспертиза показала, что, так или иначе, в процессе производства муки, после ряда технологических операций наблюдается снижение энергетической и биологической ценности конечного продукта по сравнению с исходным сырьём (Калмыкова, 2016).

Низкотемпературная обработка цельных зерен также оказывает влияние на качество готового хлеба (Кунашева, 2019) и, в частности, метод криогенного разрушения внутренней структуры зерна, итогом применения которого является зерновой полуфабрикат, необходимый для изготовления цельнозерновых хлебобулочных изделий.

В данной статье рассмотрены особенности влияния низкотемпературной обработки на свойства зерна пшеницы. Проведены детальные исследования в этом направлении, результаты которых в дальнейшем поспособствуют улучшению технологического процесса производства цельнозерновых хлебобулочных изделий, а также помогут разработать более эффективный метод обработки зерна.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: установить оптимальное время замачивания зерна пшеницы, провести низкотемпературную обработку зерна после замачивания со снятием показателей изменения температур в ходе замораживания и размораживания и проанализировать полученные результаты.

В исследовании использовались:

Зерно пшеницы «Орловское 32», озимой, мягкой ГОСТ 9353-2016;

Дистиллированная вода ГОСТ Р 58144-2018

Оборудование:

Влагомер AND ML 50;

Термометр сопротивления RGK СТ-12 прошедшим проверку с термопарами хромель-алюмель;

Ларь шоковой заморозки

Инструменты:

Для математической обработки первичных данных применялась программное обеспечение Loginom;

Для построения графических изображений (графиков) применялся MS Excel.

Для проведения исследования применялись стандартные и специальные методы исследования. К стандартным методикам относится определение влажности ГОСТ 13586.5-2015, к специальным – определение температуры эндосперма зерна при замораживании.

Первым этапом процедуры исследования стало определение влажности зернового сырья.

Для этого зерно предварительно замачивалось в дистиллированной воде в течение разного времени в интервале от 1 до 24 часов при температуре 20-22 °С, после чего избыток влаги на

поверхности зерновой массы удаляли с помощью фильтровальной бумаги и определяли влажность зерна путём его высушивания до постоянной массы при 105 °С.

Для исследования влияния низкотемпературной обработки на зерно пшеницы использовался термометр, оснащённый игольчатой термопарой типа хромель-алюмель. В центр эндосперма зерновки, после замачивания в дистиллированной воде и удаления избытка влаги, вводилась термопара. После этого зерно с термопарой подвергалось процессу замораживания в установке шоковой заморозки (Рощина, 2020). Конечная температура процесса замораживания была принята равной -18 °С, поскольку дальнейшее замораживание считается нецелесообразным для производственной деятельности предприятий по приготовлению хлеба и хлебобулочных изделий. Размораживание происходило при температуре 21 °С, давлении $98 \cdot 10^3$ Па (735 мм рт.ст.) до момента установления равенства температур окружающей среды и температуры в центре зерновки.

После чего осуществлялась математическая обработка полученных в ходе исследования данных.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим анализ полученных в ходе исследования данных.

Процесс аппроксимации полученных данных с использованием метода обработки «Вейвлет-сглаживание» был выполнен с применением программы Logipom. Аппроксимированные данные были импортированы в программу MS Excel, на основе которых были построены графики.

По результатам проведённого исследования по замачиванию зерна были получены следующие графические изображения.

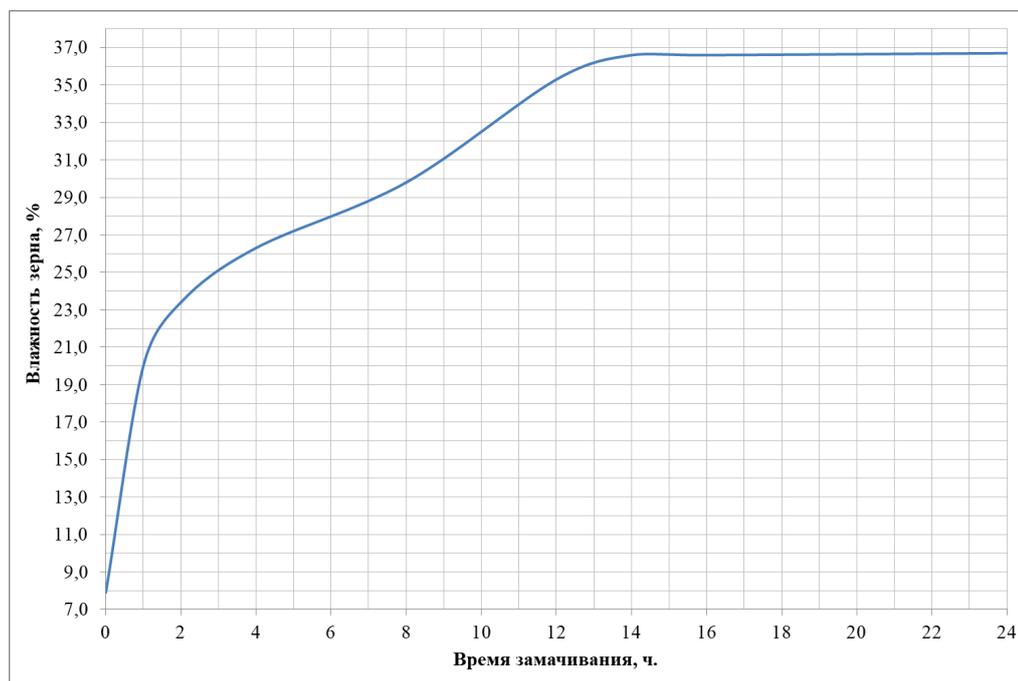


Рисунок 1. График зависимости влажности зерна от времени замачивания.

На рисунке 1 показан алгоритм изменения влажности зерна, где по оси абсцисс отложено время замачивания зерна, выраженное в часах, а по оси ординат отображены показатели влажности зерна в процентах влаги относительно массы навески.

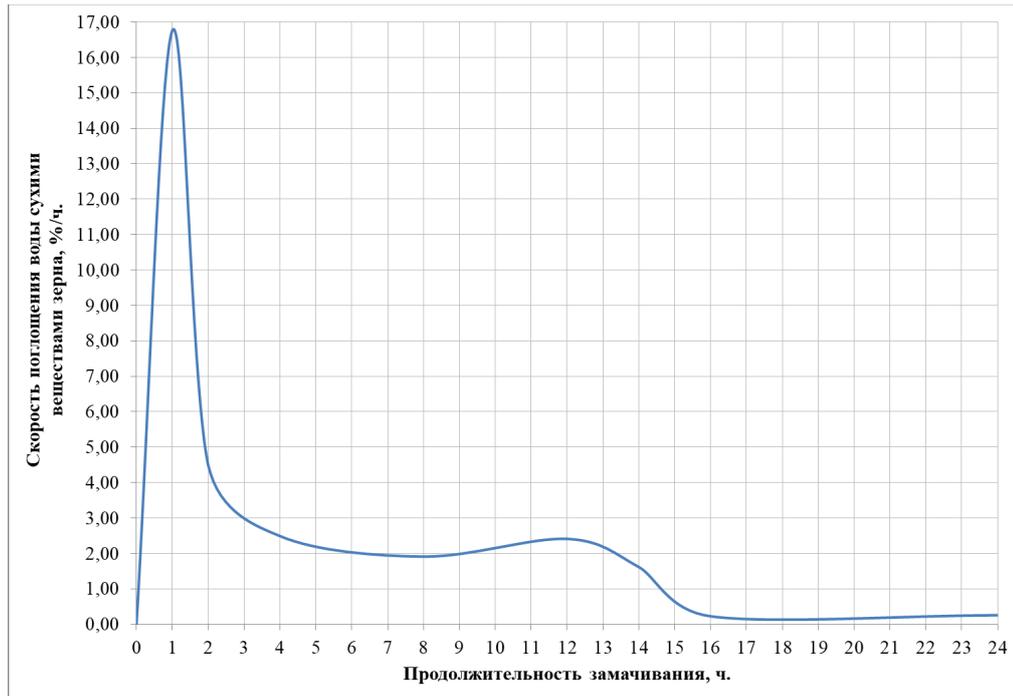


Рисунок 2. График изменения скорости поглощения воды сухими веществами зерна.

На рисунке 2 показано изменение скорости связывания воды различными сухими соединениями зерна пшеницы. По оси абсцисс отмечена продолжительность замачивания зерна в часах, а по оси ординат – скорость поглощения воды сухими веществами зерна в %/ч.

По результатам исследования зерна в процессе его замораживания и размораживания были получены следующие графические изображения.

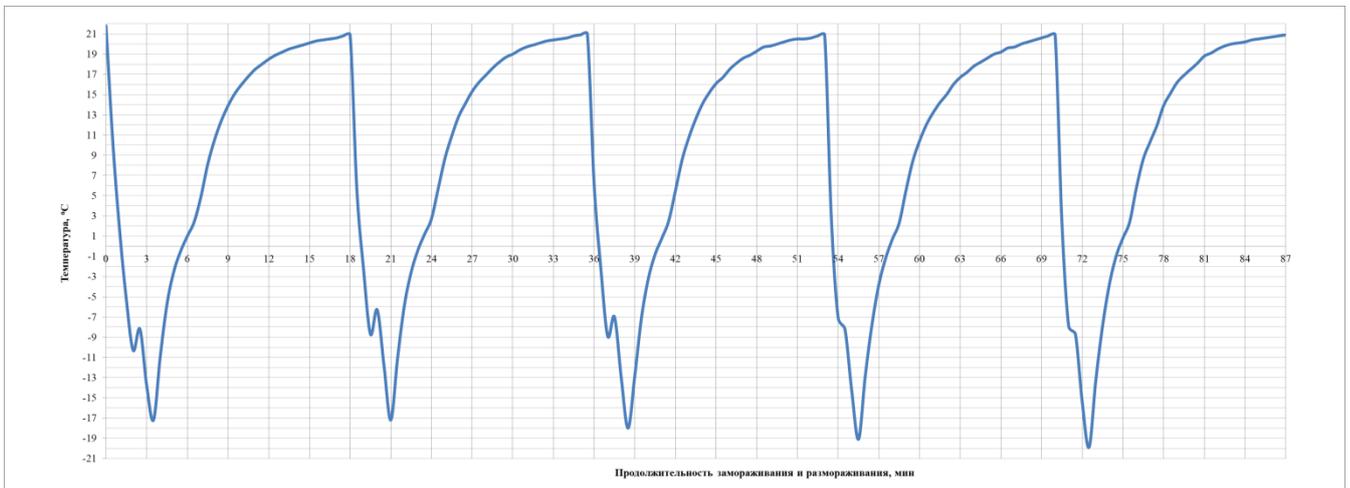


Рисунок 3. График изменения температуры эндосперма зерна в процессе замораживания и размораживания

На рисунке 3 изображена зависимость изменения температуры эндосперма зерна в процессе низкотемпературной обработки. По оси абсцисс отложено время замораживания и размораживания зерна пшеницы, по оси ординат показана температура, выраженная в °C.

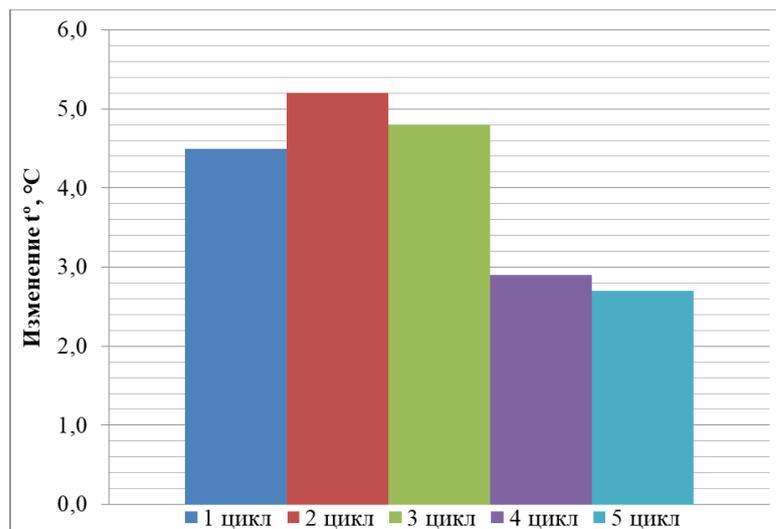


Рисунок 4. Изменение температуры эндосперма зерна в момент фазового перехода процесса замораживания при каждом цикле заморозки.

Рисунок 4 представляет собой столбчатую диаграмму, столбцы которой отображают изменение температуры эндосперма зерна при каждом цикле замораживания, где по оси абсцисс отложена разность минимальной температуры от максимальной, взятой по модулю в момент фазового перехода.

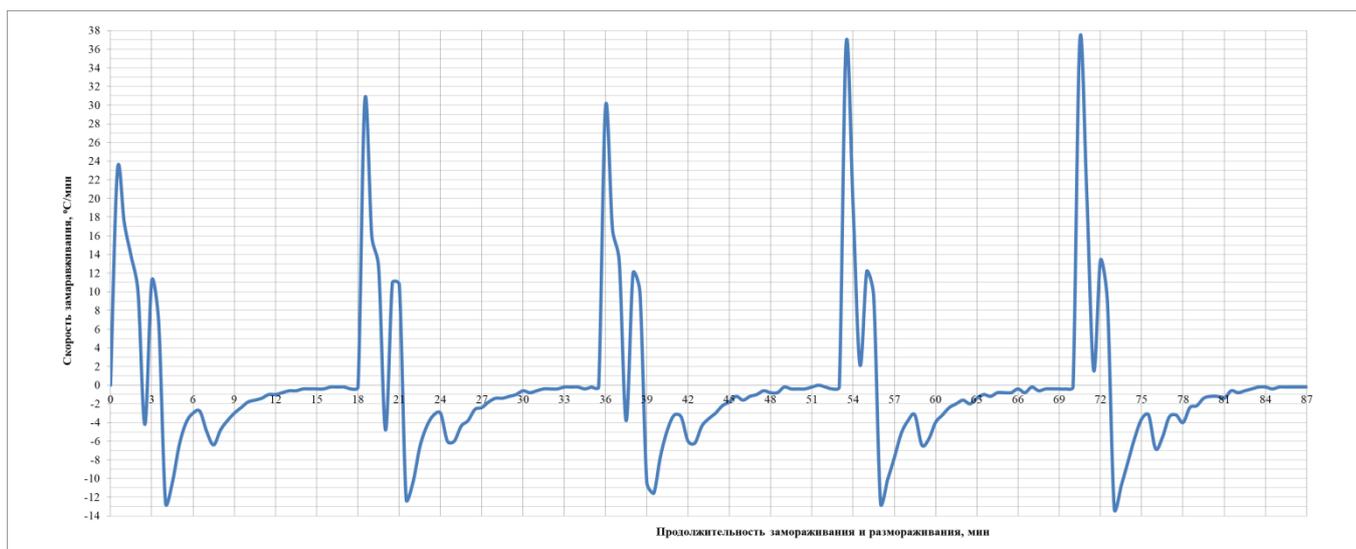


Рисунок 5. График изменения скорости температуры эндосперма зерна в процессе замораживания и размораживания.

Рисунок 5 отображает кривую изменения скорости температуры эндосперма зерна в процессе замораживания и размораживания в течении пяти циклов, где по оси абсцисс отложено время замораживания и размораживания в минутах, а по оси ординат показана скорость замораживания эндосперма зерна в °C /мин.

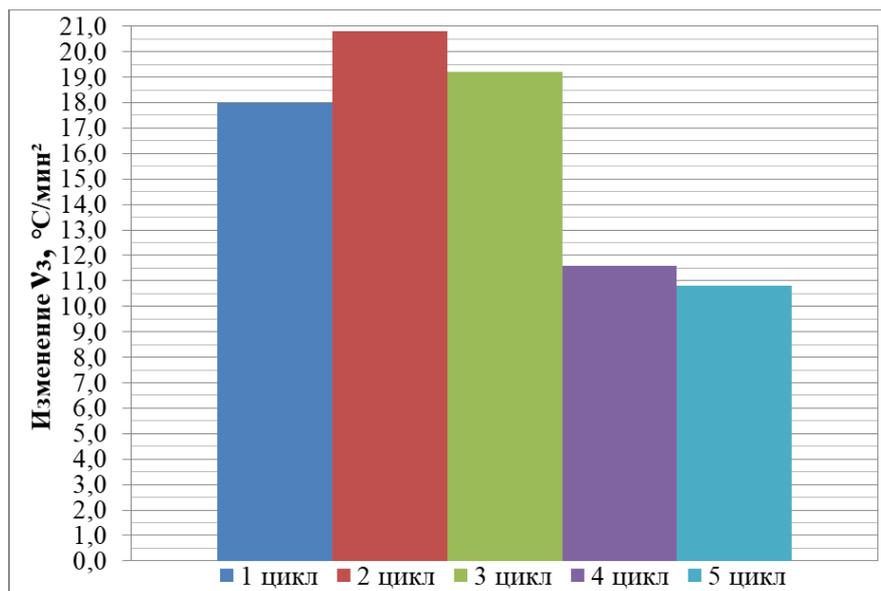


Рисунок 6. Изменение скорости температуры эндосперма зерна в момент фазового перехода процесса замораживания при каждом цикле заморозки.

Рисунок 4 представляет собой столбчатую диаграмму, столбцы которой отображают изменение скорости температуры эндосперма зерна при каждом цикле замораживания в момент фазового перехода.

Обсудим все показанные графические изображения. Для определения минимального времени замачивания зерна был построен график зависимости влажности зерна от времени замачивания (рисунок 1). Для того чтобы однозначно определить конечное время замачивания зерновой массы, обратимся к графику изменения скорости поглощения воды сухими веществами зерна (рисунок 2). На графике в первый час замачивания наблюдается максимальная скорость поглощения воды зерном, после чего происходит уменьшение скорости водопоглощения. В интервале с 8 до 12 часов замачивания скорость незначительно увеличивается, что может быть связано с осмотическим проникновением воды вглубь зерна, что ведёт к дополнительному связыванию влаги белковыми веществами и высокомолекулярными углеводами зерна. С 16 часов увеличение скорости поглощения воды сухими веществами зерна происходит незначительно, поэтому указанное время замачивания будет оптимальным для выбранного в качестве объекта исследования зерна.

В ходе проведения исследования фиксировались значения температуры эндосперма зерновки на протяжении всего процесса низкотемпературной обработки, которая состояла из пяти одинаковых циклов, включающих этапы заморозки и разморозки зерна.

Благодаря полученным данным, был составлен график зависимости температуры эндосперма зерна от времени замораживания и размораживания (рисунок 3), а также график зависимости скорости замораживания и размораживания эндосперма зерна от времени (рисунок 5). На рисунке 3 видно, что с каждым последующим циклом наблюдается изменчивость процесса фазового перехода, в ходе которого вода превращается в лёд. Повышение температуры в этих временных отрезках обуславливается кристаллизацией (Лабутина, 2004).

Чтобы более детально проанализировать характер протекания процесса замораживания, обратимся к рисунку 4, на котором показаны изменения температуры эндосперма зерна в моменты фазового перехода процесса замораживания для каждого цикла заморозки. Начиная с 4-го цикла, фазовый переход стал проходить со значительным снижением разницы минимальной и максимальной температуры, что может свидетельствовать об уменьшении процента свободной влаги в исследуемом объекте.

Таким образом, можно предположить, что при формировании кристаллов льда в зерне происходит разрушение макромолекул крахмала и белка до низкомолекулярных соединений, которые при размораживании начинают связывать часть свободной влаги, что и может обуславливать понижение разности температур в циклах 4 и 5 по сравнению с циклами 1,2 и 3.

Для того чтобы наиболее точно описать влияние протекания процесса замораживания и размораживания на исследуемый образец, обратимся к графику изменения скорости температуры эндосперма зерна (рисунок 5). Анализируя его, можно сделать вывод об увеличении начальной скорости охлаждения при каждом новом цикле замораживания, что должно говорить об уменьшении времени, затрачиваемого на льдообразование, а значит, количество свободной влаги могло понизиться, а связанной – увеличиться, за счёт присоединения воды к уже разрушенным высокомолекулярным соединениям в эндосперме зерна.

И, наконец, обратимся к рисунку 6, на котором показано изменение скорости температуры эндосперма зерна в момент фазового перехода процесса замораживания при каждом цикле заморозки. Рисунок отображает уменьшение скорости замораживания в момент активного кристаллообразования в эндосперме зерна при увеличении цикла заморозки. Это свидетельствует об уменьшении энергии, затраченной на фазовый переход воды, а, следовательно, о связывании свободной влаги образованными производными веществами крахмала и белков при их криогенном разрушении, о чём упоминалось ранее.

Заключение

Таким образом, проведённые исследования позволили определить минимальное время замачивания для зерна пшеницы «Орловское 32», мягкой, озимой, которое составило 16 часов в дистиллированной воде при температуре 20-22 °С.

В ходе анализа данных, полученных после проведения низкотемпературной обработки зерна пшеницы и снятия показателей температуры во время замораживания и размораживания зерна, были построены показательные графики: изменения температуры эндосперма зерна в процессе замораживания и размораживания и изменения скорости температуры эндосперма зерна в процессе замораживания и размораживания.

По данным графика изменения температуры начиная с 4-го цикла фазовый переход стал проходить со значительным снижением разницы минимальной и максимальной температуры. По данным графика изменения скорости температуры наблюдается увеличение начальной скорости охлаждения при каждом новом цикле замораживания, а также уменьшение скорости замораживания в момент активного кристаллообразования.

По результатам исследования была выдвинута и рассмотрена гипотеза о криогенном разрушении веществ зерна пшеницы при замораживании и размораживании в несколько циклов.

Эти результаты могут быть использованы для разработки более эффективных методов обработки зерна, а также повышения качества производства цельнозерновых хлебобулочных изделий.

Список литературы

1. Герасимова Э.О., Лабутина Н.В. Криогенные технологии в хлебопечении // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № (1). С. 6-9.
2. Грязина Ф.И. Способы использования зерна в технологии хлеба // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2015. № (1). С. 5-8.
3. Калмыкова Е.В., Калмыкова О.В. Цельнозерновые продукты в современных технологиях хлебопекарной промышленности // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. 2016. № (1). С. 65-70.
4. Кунашева Ж.М., Кодзокова М.Х. Зерновой хлеб // Новые технологии. 2019. № (1). С. 108-116.
5. Лабутина Н.В. Повышение эффективности технологии хлебобулочных изделий из

замороженных полуфабрикатов с использованием ржаной муки // Doctoral dissertation. Кубанский государственный технологический университет. 2004. С. 52.

6. Рощина Е.В., Григорьева Р.З., Баранец С.Ю., Давыденко Н.И., Куракин М.С. Шоковая заморозка булочных изделий с использованием нетрадиционного растительного сырья на предприятиях общественного питания // Техника и технология пищевых производств. 2020. № 50(3). С. 439-449.

Study of the effect of low-temperature processing on wheat grain

Artem S. Anurov

Russian Biotechnological University
Moscow, Russia
anurov.artiom@mail.ru
ORCID 0009-0007-4147-7453

Natalia V. Labutina

Doctor of Technical Sciences
Russian Biotechnological University
Moscow, Russia
labutinanv@mail.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Denis M. Kolmykov

Russian Biotechnological University
Moscow, Russia
kolmykowdenis@mail.ru
ORCID 0009-0002-1565-5387

Received 12.04.2023

Accepted 15.06.2023

Published 15.09.2023

UDC 633.11:662.767

EDN EEBPEL

VAK 4.3.3. Food systems (engineering sciences)

OECD 02.11.JY FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

Abstract

Low-temperature processing is a promising direction in the global food industry, used for the production of bread and bakery products. It allows you to extend the shelf life and ensure the possibility of transporting the product frozen. In Russia, whole grain bakery products are increasingly in demand due to the high energy value, vitamins, minerals and plant fibers contained in the grain. Low temperature processing can help maintain these qualities in the production of whole grain baked goods. Thanks to the process of low-temperature processing of grain, it is possible to obtain a semi-finished grain product from which whole grain bakery products can be prepared. However, the features of the influence of low-temperature processing on grain have not yet been studied. Therefore, to begin with, a series of studies were carried out to determine the optimal soaking time for the grain under study. After that, the grain was subjected to low-temperature treatment with measurements of temperature changes during freezing and thawing. Based on the results of the study, it was determined that the minimum soaking time for Orlovskoye 32 wheat grain is 16 hours. Indicative graphs constructed after low-temperature processing of grain showed that starting from the 3rd cycle, the phase transition occurs with a

significant decrease in the difference in temperature and freezing rate, but with each new cycle the rate of freezing begins increases. Based on the results of the study, a hypothesis about the cryogenic destruction of wheat grain substances during freezing and thawing in several cycles was put forward and considered.

Keywords

grain, grain raw materials, freezing, defrosting, destruction.

References

1. Gerasimova E.O., Labutina N.V. Cryogenic technologies in bakery // Izvestia of higher educational institutions. Food technology. 2019. No. (1). pp. 6-9.
2. Gryazina F.I. Methods of using grain in bread technology // Bulletin of the Mari State University. The series "Agricultural sciences. Economic Sciences". 2015. No. (1). pp. 5-8.
3. Kalmykova E.V., Kalmykova O.V. Whole grain products in modern technologies of the baking industry // Rational nutrition, food additives and biostimulants. 2016. No. (1). pp. 65-70.
4. Kunasheva J.M., Kodzokova M.H. Grain bread // New technologies. 2019. No. (1). pp. 108-116.
5. Labutina N.V. Improving the efficiency of the technology of bakery products from frozen semi-finished products using rye flour // Doctoral dissertation. Kuban State Technological University. 2004. p. 52.
6. Roshchina E.V., Grigorieva R.Z., Baranets S.Yu., Davydenko N.I., Kurakin M.S. Shock freezing of bakery products using non-traditional vegetable raw materials at public catering enterprises // Technique and technology of food production. 2020. No. 50(3). pp. 439-449.