

БИОТЕХНОЛОГИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ, ЛЕКАРСТВЕННЫХ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ / BIOTECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS, MEDICINAL AND BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.44>

БЕТАИН КАК ИНГРЕДИЕНТ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗАМОРОЖЕННЫХ ТЕСТОВЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Научная статья

Герасимов А.А.^{1,*}, Баракова Н.В.², Мельчаков Р.М.³

¹ ORCID : 0000-0001-5260-0428;

² ORCID : 0000-0001-7296-8609;

³ ORCID : 0000-0002-0642-3325;

^{1,2,3} Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (gerusidze95[at]mail.ru)

Аннотация

В работе представлены результаты исследований влияния бетаина на качество хлебобулочных изделий, производимых по технологии отложенной выпечки с применением шоковой заморозки. Экспериментальная часть данного исследования основана на измерении реологических свойств теста, показателей качества готовых изделий и активности дрожжевых клеток на различных сроках хранения замороженных тестовых заготовок, произведенных с использованием бетаина по условиям наиболее приближенным к производственным с максимальным соблюдением толерантности. Контрольные точки эксперимента – 1, 7, 14, 30, 60 и 90 суток хранения. Установлено, что применение бетаина увеличивает высоту подъема теста на 1, 7, 14 и 30 сутки хранения и увеличивает количество сохраненного диоксида углерода в тесте без сокращения общего количества выделенного диоксида углерода при брожении относительно контрольного образца на всем сроке хранения. Рекомендовано применение бетаина для улучшения качества готовых изделий в технологических цепочках, рассчитанных на сроки хранения замороженных полуфабрикатов до 30 суток.

Ключевые слова: бетаин, замораживание, хлебопечение, реология, хлебопекарные дрожжи.

BETAINE AS AN INGREDIENT FOR IMPROVING THE QUALITY OF FROZEN PASTRY PRODUCTS

Research article

Gerasimov A.A.^{1,*}, Barakova N.V.², Melchakov R.M.³

¹ ORCID : 0000-0001-5260-0428;

² ORCID : 0000-0001-7296-8609;

³ ORCID : 0000-0002-0642-3325;

^{1,2,3} ITMO University, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (gerusidze95[at]mail.ru)

Abstract

The work presents the results of studies on the effect of betaine on the quality of bakery products produced by delayed baking technology with the use of blast chilling. The experimental part of this study is based on measuring the rheological properties of the dough, the quality of the finished products and the activity of yeast cells at different storage times of frozen dough pieces produced using betaine under conditions most similar to those of production with maximum tolerance. The control points of the experiment were 1, 7, 14, 30, 60 and 90 days of storage. It was found that the use of betaine increases the height of dough rise at 1, 7, 14 and 30 days of storage and increases the amount of stored carbon dioxide in the dough without reducing the total amount of carbon dioxide released during fermentation relative to the control sample for the entire period of storage. The use of betaine is recommended to improve the quality of finished products in technological chains designed for storage periods of frozen semifinished products up to 30 days.

Keywords: betaine, freezing, baking, rheology, baking yeast.

Введение

Новое направление в хлебопечении – технологии производства хлебобулочных изделий из замороженных тестовых заготовок имеет ряд преимуществ перед традиционными технологиями и находит все большее применение [1]. Известно, что наряду с высокой экономической эффективностью подобных технологий также существуют риски, связанные с качеством конечного продукта.

В процессе низкотемпературного воздействия на компоненты теста по причине перехода воды в лед повреждаются в первую очередь белковые структуры [2]. Низкие температуры при шоковой заморозке полуфабрикатов и их длительном хранении при низких температурах также оказывают влияние на активность дрожжевых клеток. При совокупности данных факторов готовые изделия теряют в удельном объеме, интенсивности окрашивания корки и обладают большей ломкостью (отшелушивание корки после выпекания) по сравнению с изделиями, производимыми по традиционным технологиям [3].

Современные исследования в данной области направлены на поиск технологических решений, позволяющих, как избежать образования подобных дефектов, так и увеличивать сроки хранения замороженных полуфабрикатов. Одним

из наиболее доступных технологических приемов является применение комплексных пищевых добавок, направленных, в том числе и на связывание свободной влаги в тесте. Множеством исследований доказана эффективность применения в низкотемпературных технологиях хлебопечения различных криопротекторов. Например, применение патоки и сахарозы по 3% к массе муки позволяет сократить количество свободной или слабосвязанной влаги в готовых изделиях. В качестве гидрофобных криопротекторов также находят применение растительное масло и ферментативно-модифицированный лецитин. Важно отметить, что при сравнительном исследовании влияния различных криопротекторов на упруго-эластичные свойства теста, активность дрожжей и органолептические показатели качества хлеба пшеничного, выпеченного из замороженных полуфабрикатов, наилучшие результаты показал пектин при дозировке 1,5% к массе муки [4], [5].

Как и говорилось ранее, замораживание хлебопекарных дрожжевых полуфабрикатов из пшеничной муки после формования является стрессом для дрожжевых клеток, что в итоге сокращает срок хранения замороженных тестовых заготовок. Выработка некондиционных выпеченных изделий в данном случае связана со снижением активности метаболизма дрожжевой клетки либо отмиранием последней вообще [6].

Поскольку решения, направленные на уменьшение количества свободной влаги, а также на улучшение реологических свойств теста являются наиболее доступными для предприятий, вырабатывающих замороженные хлебопекарные полуфабрикаты [3], [7], [8], нежели инструменты, защищающие дрожжевую клетку от низкотемпературного стресса, то актуальным является поиск ингредиента, обеспечивающего защиту дрожжевой клетки, и разработка технологии, включающей рекомендации по его корректному применению.

В данном исследовании рассматривается применение бетаина (триметилглицин) – цвиттер-ион, производная аминокислоты глицин, в качестве потенциального ингредиента, обладающего криопротекторными свойствами. Основные источники получения бетаина – меласса сахарной свеклы, пшеничные отруби и морепродукты. Помимо защиты от низких температур как растительных, так и животных клеток, бетаин способен оказывать и осмопротекторные свойства. Более того, значительная доказательная база существует о положительном влиянии бетаина при лечении определённых заболеваний, а также при профилактике здоровья организма человека в целом, что в основном связано с высокой инертностью данного соединения [8], [9], [10], [11]. Применение бетаина в пищевых технологиях для улучшения качества продуктов питания и для модернизации технологий, связанных с ферментацией и низкими температурами, не отмечено в опубликованных научных трудах.

Объекты и методы исследований

Исследования осуществлялись посредством проведения пробных лабораторных выработок замороженных сформованных тестовых полуфабрикатов с последующим допеканием на различных сроках хранения, а именно на 1, 7, 14, 30 и 90 сутки хранения. Технологически параметры испытаний и модельная рецептура представлены в таблице 1. Используемые сырьевые ингредиенты были приобретены у специализированных поставщиков и соответствовали требованиям нормативной документации, действующей в Российской Федерации.

Часть заготовок без стадии размораживания отправляли на испытания на приборе Rheofermentometr F3, Chopin для исследования реологических показателей теста в процессе брожения (высота подъёма теста) и активности метаболизма дрожжей (количество выделенного диоксида углерода). Принцип работы прибора состоит в измерении давления, образуемого погружённым в специальную ёмкость тестом в процессе брожения. Выделенный газ поочерёдно стравливается в атмосферу напрямую (определение газообразующей способности) и через картридж с натронной известью, которая задерживает диоксид углерода (определение газодерживающей способности). Подъём теста в процессе брожения оценивается по перемещению поршня, который устанавливается непосредственно на тесто.

Выпеченные изделия отправляли на измерение удельного объёма по методу расчёта отношения объёма вытесненного сыпучего материала к массе изделия. Удельный объём готовых изделий определяли как отношение объёма к массе и выражали в см³/г.

Опытный образец эксперимента – бетаин ангидрид (CAS No 107-43-7) растительного происхождения (меласса сахарной свеклы), белый кристаллический порошок, концентрация бетаина 98%, производитель Acros Organics BV, Китай;

Расчётным путем, исходя из рекомендаций, составленных министерством здравоохранения Российской Федерации о нормах потребления как биологически активных добавок, так и продуктов питания, определены дозировки бетаина – 0,1, 0,2 и 0,3% к массе муки. Контрольными образцами являлись тестовые полуфабрикаты и готовые изделия, приготовленные без добавления бетаина.

Схема проведения эксперимента представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Схема проведения экспериментальной части исследования
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.44.1>

Таблица 1 - Модельная рецептура и технологические параметры производства дрожжевых изделий из пшеничной муки

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.44.2>

Рецептура (полубагет пшеничный)	
Наименование ингредиента	Расход, %
Мука пшеничная хлебопекарная высший сорт	100,0

Дрожжи хлебопекарные прессованные	4,0	
Соль пищевая	1,8	
Вода	64,0	
Выход теста	169,8	
Технологические режимы		
Наименование технологического параметра	Единица измерения	Значение
Продолжительность замеса теста (1ая скорость)	мин	5
Продолжительность замеса теста (2ая скорость)	мин	4
Температура теста начальная	°С	18
Продолжительность брожения	мин	-
Продолжительность деления, отлежки и формования	мин	20
Масса тестовой заготовки	г	180
Продолжительность замораживания	мин	40
Температура воздуха в камере шокового замораживания	°С	- 35
Скорость движения воздуха в камере шокового замораживания	м/с	4
Температура в морозильной камере (хранение)	°С	- 18
Хранение	сут	1, 7, 14; 30; 60; 90
Продолжительность размораживания в условиях цеха	мин	40
Температура воздуха в камере расстойки	°С	32
Относительная влажность воздуха; расстойка	%	70
Продолжительность расстойки	мин	60 – 70 (определение по готовности)
Режим пароувлажнения в хлебопекарной камере	л	0,8
Продолжительность выпечки	мин	16
Температура выпечки	°С	220

Результаты и обсуждение

По результатам испытаний на приборе Rheofermentometr F3 составлены диаграммы общего количества выделенного диоксида углерода в процессе брожения $V_t \text{ CO}_2$, см³ (рисунок 2), максимальной высоты подъёма теста H_m , мм (рисунок 3) и доли потерянного диоксида углерода, % – газодерживающая способность теста (рисунок 4). При анализе данных по объёму выделенного диоксида углерода (рисунок 2) видно, что отличия в значениях между контрольным и опытными образцами лежат в области доверительного интервала. Следовательно, можно считать влияние бетаина на данный показатель незначительным. Это позволяет сделать вывод об отсутствии дополнительных криопротекторных свойств, улучшающих метаболизм дрожжевых клеток, при использовании бетаина в установленных дозировках.

В свою очередь наблюдается резкое сокращение значений по данному показателю на 90 сутки, где разница между значениями на 60 сутки и на 90, в среднем для всех образцов, составляет 18%. В соответствии с данными технической литературы выработка замороженных дрожжевых полуфабрикатов хлебопекарного производства со сроками хранения выше 3-х месяцев является сложной технологической задачей и требует комплексного подхода: применение комплексных пищевых добавок, увеличение дозировки дрожжей, подбор муки соответствующего качества и прочее.

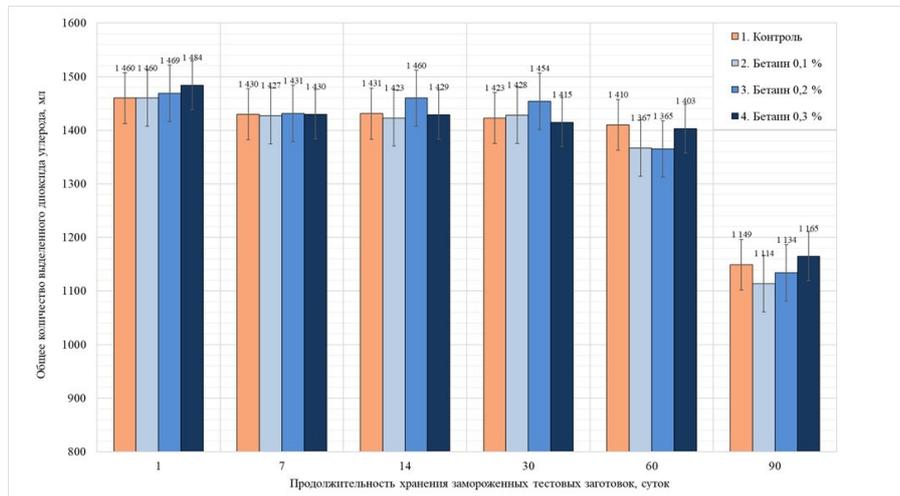


Рисунок 2 - Влияние бетаина на объем общего выделенного в процессе брожения диоксида углерода при анализе на различных сроках хранения замороженных тестовых заготовок
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.44.3>

На диаграмме, представленной на рисунке 3, видно, что внесение бетаина на стадии приготовления тестовых заготовок улучшает реологические свойства теста, увеличивая высоту его подъема при брожении после размораживания. Например, высота подъема теста, произведенного с дозировкой бетаина 0,3% превосходит контрольный образец по данному показателю на 7 сутки хранения на 19%.

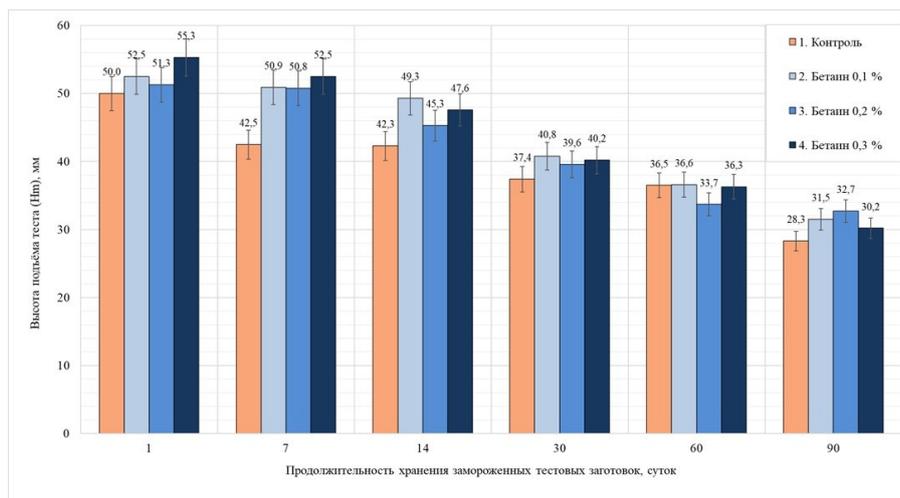


Рисунок 3 - Влияние бетаина на высоту подъема замороженного после формования теста на различных сроках хранения
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.44.4>

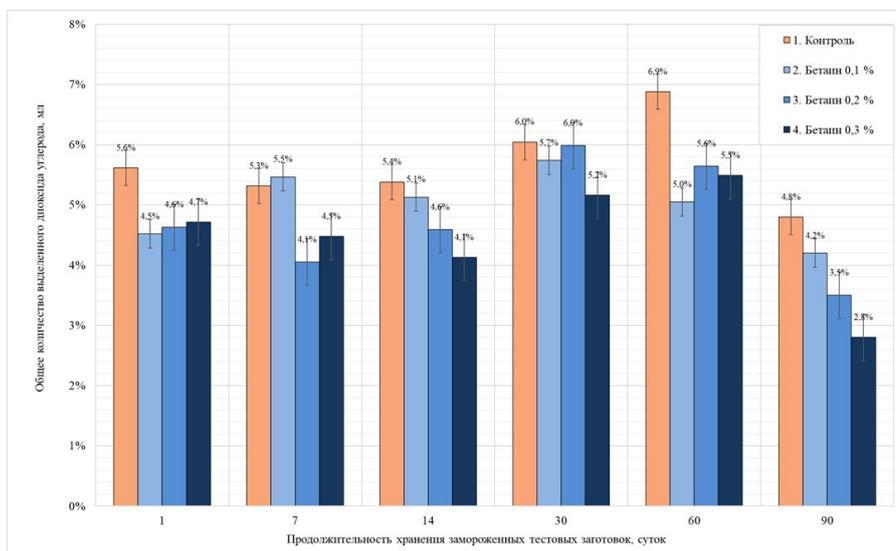


Рисунок 4 - Влияние бетаина на долю потери диоксида углерода тестом в процессе брожения при анализе на различных сроках хранения замороженных тестовых заготовок
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.44.5>

Важно отметить, что существенного отличия в показателе высоты подъёма теста на 60 и 90 сутки между опытными и контрольным образцами практически нет. Данное заключение свидетельствует о лучшем сохранении газодерживающей способности теста, приготовленного с использованием бетаина, нежели без него.

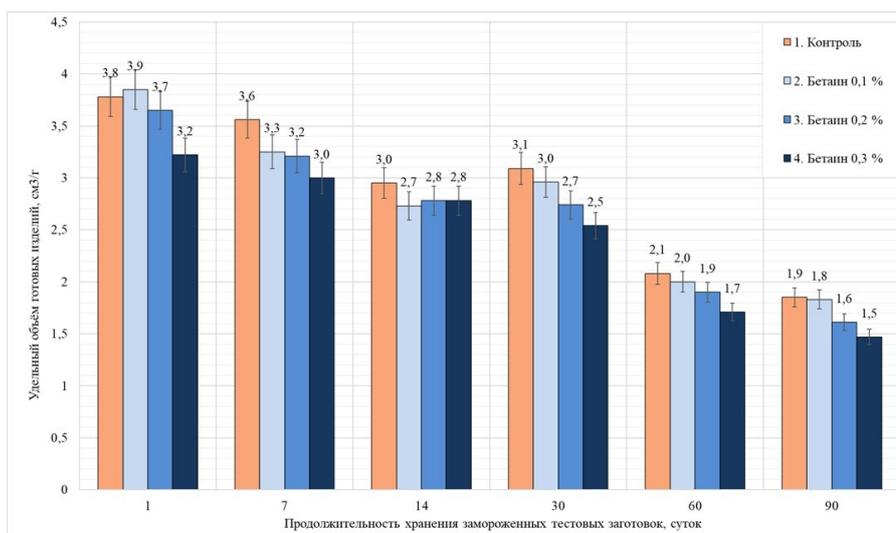


Рисунок 5 - Влияние бетаина на удельный объем готовых изделий, произведенных из замороженных тестовых заготовок
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.44.6>

Улучшение газодерживающей способности теста за счёт добавления бетаина подтверждают данные по доле потерянного диоксида углерода тестом в процессе брожения после размораживания, которые представлены в виде диаграммы на рисунке 4. Видно, что наибольшая доля потерянного CO_2 на каждом этапе эксперимента принадлежит контрольному образцу, приготовленному без бетаина.

Результаты определения удельного объема готовых изделий, приготовленных из замороженных полуфабрикатов и выпеченных на различных сроках хранения последних, представлены в виде диаграммы на рисунке 5.

Полученные данные подтверждают динамическое снижение удельного объема готовых изделий по мере увеличения сроков хранения как контрольного, так и опытных образцов замороженных полуфабрикатов. Причем степень уменьшения объема на 90 сутки хранения составляет порядка $45 \pm 3\%$ по отношению к объёму изделий на 1 сутки хранения для всех образцов. Образцы, приготовленные с использованием бетаина, уступали в объеме контрольному образцу уже на начальных сроках хранения. Причем разница в объеме увеличивается с увеличением количества бетаина в тесте. Например, на 7 сутки хранения отличие составило 8, 11 и 16% по отношению к контрольному образцу для образцов с дозировками бетаина 0,1, 0,2 и 0,3%, соответственно.

Предполагается, что при высоких температурах во время выпечки бетаин интенсифицирует реакции, направленные на укрепление белково-клейковинного каркаса изделий, что приводит к уменьшению удельного объема.

Данные изменения подтверждаются внешним видом изделий, выпеченных на 7 сутки хранения, что представлено на рисунке 6. Также в защиту данной теории выступают противоположные данные о положительной динамике при применении бетаина на реоферментометре, испытание на котором не предполагает нагрева теста выше 30°C.



Рисунок 6 - Внешний вид готовых изделий, выпеченных на 7 сутки хранения замороженных тестовых полуфабрикатов:

1 – контроль; 2 – дозировка бетаина 0,1%; 3 – дозировка бетаина 0,2%; 4 – дозировка бетаина 0,3%

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.44.7>

Заключение

Одним из наиболее перспективных предложений для технологий отложенной выпечки из замороженного теста, сохраняющего ферментативную активность, является применение бетаина в качестве крипротектора для дрожжевых клеток. В результате проведённых исследований установлено, что применение бетаина увеличивает высоту подъёма теста на 1, 7, 14 и 30 сутки хранения и увеличивает количество сохраненного диоксида углерода в тесте без сокращения общего количества выделенного диоксида углерода при брожении относительно контрольного образца на всем сроке хранения. Однако вопрос о снижении объёма готовых изделий, произведённых с использованием бетаина, в процессе выпечки требует дополнительной проработки. Следующим этапом настоящих исследований является проведения исследования бетаина на упруго-деформационные свойства пшеничного теста, а также на показатели качества готовых изделий, произведённых прямым способом (без применения низкотемпературных технологий).

Прикладное значение данных исследований бетаина в качестве ингредиента, защищающего дрожжевые клетки от различных видов стресса, встречающихся в технологиях хлебопечения, может быть реализовано как разработка новых технологических решений. Фундаментально бетаин рассматривается как потенциальный ингредиент широкой функциональности для различных направлений пищевой промышленности, где в технологиях применяются процессы ферментации.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Касьянов Г.И., Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.44.8>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Kasyanov G.I., Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.44.8>

Список литературы / References

1. Герасимова Э.О. Криогенные технологии в хлебопечении. / Э.О. Герасимова, Н.В. Лабутина // Известия вузов, пищевая технология. — 2019. — 1. — с. 6-9.
2. Богданов В.Д. Криопротекторы в холодильных технологиях продуктов питания. / В.Д. Богданов, А.В. Панкина // Труды ВНИРО. — 2023. — 191. — с. 142-155.
3. Кульп К. Производство изделий из замороженного теста / К. Кульп, К. Лоренц, Ю. Брюммер — СПб: Профессия, 2005. — 51 с.
4. Кенийз Н.В. Технология производства хлеба из замороженных полуфабрикатов с использованием пектина в качестве криопротектора. / Н.В. Кенийз, Н.В. Сокол // Вестник МичГАУ. — 2011. — 2(2). — с. 92-94.
5. Ташходжаева М.О.К. Исследование замороженных песочных полуфабрикатов. / М.О.К. Ташходжаева, Д.Х. Махмудова, Д.Д. Мирходжаева и др. // Universum: технические науки. — 2023. — 1-3 (106).
6. Дмитриева Ю.В. Влияние температуры теста после замеса на качество замороженной после формования сдобы. / Ю.В. Дмитриева // Достижения вузовской науки. — 2014. — 12.
7. Popper L. Future of Flour: A Compendium of Flour Improvement / L. Popper, W. Schäfer, W. Freund — Eisenberg: Agrimedia GmbH, 2006. — 419 p.
8. Четверикова О.П. Сырьё и ингредиенты хлебопекарного и кондитерского производства. Справочник / О.П. Четверикова — СПб: Профессия, 2018. — 668 с.
9. Betaine. Monograph // Altern Med Rev. — 2003. — 8. — 193-6
10. Arumugam M.K. Beneficial Effects of Betaine: A Comprehensive Review. / M.K. Arumugam, M.C. Paal, T.M. Donohue et al. // Biology. — 2021. — 10. — p. 456.
11. Craig S.A. Betaine in Human Nutrition. / S.A. Craig // American Journal of Clinical Nutrition. — 2004. — Vol. 80. — 3. — p. 539-549.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gerasimova E.O. Kriogenny'e texnologii v xlebopechenii [Cryogenic Technologies in Bakery]. / E.O. Gerasimova, N.V. Labutina // Izvestiya vuzov, pishhevaya texnologiya [Proceedings of Universities, Food Technology]. — 2019. — 1. — p. 6-9. [in Russian]
2. Bogdanov V.D. Krioprotektory' v xolodil'ny'x texnologiyax produktov pitaniya [Cryoprotectors in Food Refrigeration Technologies]. / V.D. Bogdanov, A.V. Pankina // Trudy' VNIRO [Proceedings of VNIRO]. — 2023. — 191. — p. 142-155. [in Russian]
3. Kul'p K. Proizvodstvo izdelij iz zamorozhennogo testa [Production of Frozen Dough Products] / K. Kul'p, K. Lorencz, Yu. Bryummer — SPb: Professiya, 2005. — 51 p. [in Russian]
4. Kenijz N.V. Texnologiya proizvodstva xleba iz zamorozhenny'x polufabrikatov s ispol'zovaniem pektina v kachestve krioprotektora [Technology for the Production of Bread from Frozen Semi-Finished Products Using Pectin as a Cryoprotectant]. / N.V. Kenijz, N.V. Sokol // Vestnik MichGAU [Bulletin of MichGAU]. — 2011. — 2(2). — p. 92-94. [in Russian]
5. Tashxodzhaeva M.O.K. Issledovanie zamorozhenny'x pesochny'x polufabrikatov [Research of Frozen Sand Semi-Finished Products]. / M.O.K. Tashxodzhaeva, D.X. Maxmudova, D.D. Mirxodzhaeva et al. // Universum: texnicheskie nauki [Universum: Engineering Sciences]. — 2023. — 1-3 (106). [in Russian]
6. Dmitrieva Yu.V. Vliyanie temperatury' testa posle zamesa na kachestvo zamorozhennoj posle formovaniya sдобы [Influence of Dough Temperature after Kneading on the Quality of Baked Goods Frozen after Molding]. / Yu.V. Dmitrieva // Dostizheniya vuzovskoj nauki [Achievements of University Science]. — 2014. — 12. [in Russian]
7. Popper L. Future of Flour: A Compendium of Flour Improvement / L. Popper, W. Schäfer, W. Freund — Eisenberg: Agrimedia GmbH, 2006. — 419 p.
8. Chetverikova O.P. Sy'r'yo i ingredienty' xlebopekarnogo i konditerskogo proizvodstva. Spravochnik [Raw Materials and Ingredients for Bakery and Confectionery Production. Directory] / O.P. Chetverikova — SPb: Professiya, 2018. — 668 p. [in Russian]
9. Betaine. Monograph // Altern Med Rev. — 2003. — 8. — 193-6
10. Arumugam M.K. Beneficial Effects of Betaine: A Comprehensive Review. / M.K. Arumugam, M.C. Paal, T.M. Donohue et al. // Biology. — 2021. — 10. — p. 456.
11. Craig S.A. Betaine in Human Nutrition. / S.A. Craig // American Journal of Clinical Nutrition. — 2004. — Vol. 80. — 3. — p. 539-549.