

УДК 663.91: 664.6: 664.1

# Прогнозирование срока годности кондитерских изделий в условиях ускоренного хранения: обзор предметного поля

ВНИИКП – филиал ФГБНУ  
«ФНЦ пищевых систем  
им. В. М. Горбатова» РАН

Н. Б. Кондратьев, О. С. Руденко, М. В. Осипов, А. Е. Баженова

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

**Баженова Алла Евгеньевна**  
Адрес: 107023, город Москва,  
Электровзаводская ул., д. 20, стр. 3  
E-mail: bajenova.a@mail.ru

## ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования  
доступны по запросу  
у корреспондирующего автора.

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Кондратьев, Н. Б., Руденко, О. С.,  
Осипов, М. В., & Баженова, А. Е. (2022).  
Прогнозирование срока годности  
кондитерских изделий в условиях  
ускоренного хранения: обзор пред-  
метного поля. *Хранение и переработка  
сельхозсырья*, (4), 22–39.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.354>

ПОСТУПИЛА: 15.08.2022

ПРИНЯТА: 07.10.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии  
конфликта интересов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Работа выполнена на основании  
Государственного задания: FGUS-2022-  
0007 «Научные основы формирования  
кондитерских изделий заданного  
пищевого состава как многофазных  
гетерогенных систем, в том числе  
с использованием кавитационных  
эффектов, и обоснование принципы  
обеспечения их безопасности».

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Определение срока годности пищевых продуктов является длительной, сложной и трудоемкой задачей. Закономерности изменений качества в условиях ускоренного старения позволяют за короткий период спрогнозировать характер изменений при традиционном хранении изделий. При увеличении температуры хранения скорость изменений качества пищевых продуктов, в том числе кондитерских изделий существенно изменяется. Однако количественные математические зависимости таких изменений в зависимости от температуры для конкретных наименований кондитерских изделий представлены в литературных источниках недостаточно широко.

**Цель.** Изучение научных работ по вопросам прогнозирования срока годности, обобщение существующих данных по методологии оценки сохранности кондитерских изделий разных групп и сырья для их производства.

**Материалы и методы.** Для обзора использованы научные публикации российских и зарубежных авторов по вопросам прогнозирования сроков годности пищевых продуктов, полуфабрикатов и сырья для их изготовления в условиях «ускоренного старения». Поиск опубликованных статей, материалов конференций, диссертаций и монографий по исследуемой теме на русском и английском языках осуществлялся в базах данных Scopus и eLibrary.ru. В качестве метода исследования использовано обобщение результатов.

**Результаты.** Обобщены результаты работ российских и зарубежных ученых по вопросам прогнозирования сохранности шоколада, мучных и сахаристых кондитерских изделий с 1982 по 2021 гг. Скорость изменений пищевых качества продуктов в результате протекания микробиологических и окислительных процессов зависит от химического состава, свойств упаковочных материалов и условий хранения. При увеличении температуры значительно увеличивается скорость процессов порчи окислительных и микробиологических процессов порчи. Выявленные закономерности и установленные коэффициенты пересчета изменения содержания витаминов, перекисного числа в кондитерских изделиях при «ускоренном старении» по сравнению с условиями традиционного хранения позволят управлять процессами порчи и разрабатывать мероприятия для гарантирования установленного срока годности.

**Выводы.** Авторы полагают, что модель Аррениуса является наиболее приемлемой для прогнозирования срока годности кондитерских изделий в условиях «ускоренного старения». Обобщены коэффициенты «ускоренного старения» по группам кондитерских изделий, полученные отечественными и зарубежными исследователями. Испытания продукции в условиях «ускоренного старения» позволяют сократить длительность исследований по сравнению со традиционными методами и могут быть использованы для оценки срока годности кондитерских изделий на предприятиях и в испытательных центрах.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кондитерские изделия, сырье, полуфабрикаты, шоколад, карамель, печенье, ускоренное хранение, прогнозирование срока годности



# Forecasting the Shelf Life of Confectionery Products under Accelerated Storage Conditions: Scoping Review

VNIIPK is a branch of the V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences

Nikolay B. Kondratiev, Oksana S. Rudenko, Maxim V. Osipov,  
Alla E. Bazhenova

## CORRESPONDENCE:

Alla E. Bazhenova

20/3, Elektrozavodskaya str.,  
Moscow, 107023, Russian Federation  
E-mail: bajenova.a@mail.ru

## FOR CITATIONS:

Kondratiev, N. B., Rudenko, O. S.,  
Osipov, M. V., & Bazhenova, A. E.  
(2022). Forecasting the Shelf Life  
of Confectionery Products under  
Accelerated Storage Conditions:  
Scoping Review. *Storage and processing  
of Farm Products*, (4), 22–39.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.354>

RECEIVED: 15.08.2022

ACCEPTED: 07.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

## FINANCING

The work was performed on the basis  
of State assignment: FGUS-2022-0007  
"Scientific foundations of the forma-  
tion of confectionery products of a  
given food composition as multiphase  
heterogeneous systems, including using  
cavitation effects, and substantiation of  
the principles of ensuring their safety".



## ABSTRACT

**Background.** Determining the shelf life of food products is a long, complex and time-consuming task. The regularities of quality changes in conditions of accelerated aging make it possible to predict the nature of changes in the traditional storage of products in a short period. With an increase in the storage temperature, the rate of changes in the quality of food products, including confectionery, changes significantly. However, quantitative mathematical dependences of such changes depending on temperature for specific names of confectionery products are not widely presented in literary sources.

**Purpose.** The study of scientific papers on the issues of forecasting the shelf life, generalization of existing data on the methodology for assessing the safety of confectionery products of different groups and raw materials for their production.

**Materials and methods.** The review uses scientific publications of Russian and foreign authors on the issues of forecasting the shelf life of food products, semi-finished products and raw materials for their manufacture in conditions of "accelerated aging". The search for published articles, conference materials, dissertations and monographs on the topic under study in Russian and English was carried out in the Scopus databases and eLibrary.ru. Generalization of the results was used as a research method.

**Results.** The results of the work of Russian and foreign scientists on predicting the safety of chocolate, flour and sugar confectionery products from 1982 to 2021 are summarized. The rate of changes in the food quality of products as a result of microbiological and oxidative processes depends on the chemical composition, properties of packaging materials and storage conditions. With an increase in temperature, the rate of spoilage processes of oxidative and microbiological spoilage processes increases significantly. The revealed patterns and established conversion coefficients of changes in the content of vitamins, peroxide number in confectionery products with "accelerated aging" compared to the conditions of traditional storage will allow you to manage the spoilage processes and develop measures to guarantee the established shelf life.

**Conclusions.** The authors believe that the Arrhenius model is the most acceptable for predicting the shelf life of confectionery products in conditions of "accelerated aging". The coefficients of "accelerated aging" for groups of confectionery products obtained by domestic and foreign researchers are summarized. Product testing under conditions of "accelerated aging" allows to reduce the duration of research compared to traditional methods and can be used to assess the shelf life of confectionery products at enterprises and in testing centers.

## KEYWORDS

confectionery, raw materials, semi-finished products, chocolate, caramel, cookies, accelerated storage, shelf life prediction

## ВВЕДЕНИЕ

Кондитерские изделия является неотъемлемой частью продуктовой корзины отечественного потребителя. Широкий ассортимент многокомпонентных кондитерских изделий, его разнообразие, позволяет удовлетворить потребности и ожидания различных групп населения. Большим спросом пользуются кондитерские изделия, содержащие продукты переработки ценного растительного сырья, в том числе цельнозерновой муки, фруктов, овощей, продукты с высоким содержанием белка, жира, какао, орехов, молока и др. Это в значительной степени повышает пищевой статус кондитерской продукции для потребителя, но создает определенные проблемы в процессе хранения, связанные с прогнозированием срока годности. Производители кондитерской продукции стремятся достигнуть высоких показателей качества вырабатываемого ассортимента с приемлемым и гарантированным сроком годности для потребителей и комфортным для реализации в торговой сети. Поэтому научные исследования, направленные на установление и прогнозирование срока годности, являются своевременными и актуальными (Силенина, 2019; Cartier, 2009; Labuza & Hartel, 2013; Subramaniam, 2007; Labuza & Riboh, 1982).

В соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза<sup>1</sup> срок годности пищевой продукции это период времени, в течение которого пищевая продукция должна полностью соответствовать предъявляемым к ней требованиям безопасности и качества, установленным настоящим техническим регламентом и (или) техническими регламентами Таможенного союза на отдельные виды пищевой продукции, а также сохранять свои потребительские свойства, заявленные в маркировке, и по истечении, которого пищевая продукция не пригодна для использования по назначению.

Сроки годности и условия хранения пищевой продукции устанавливаются изготовителем, которые несет ответственность за качество выпускаемой им продукции. Условия хранения должны обеспечивать соответствие пищевой продукции требованиям технических регламентов на отдельные виды

пищевой продукции. В Российской Федерации действуют Методические указания<sup>2</sup>, в которых даются методические указания по установлению срока годности пищевых продуктов, включая кондитерские изделия. Для санитарно-эпидемиологического обоснования сроков годности необходимо проведение микробиологических, санитарно-химических и органолептических исследований пищевых продуктов в процессе хранения при температурах, предусмотренных технической документацией на эту продукцию. Таким образом, МУК<sup>3</sup> не предполагает прогнозирование срока годности или хранение пищевых продуктов в условиях «ускоренного старения», при повышенной температуре или измененной влажности окружающего воздуха.

Научная литература, посвященная исследованию проблем прогнозирования сроков годности пищевых продуктов и сырья для их изготовления, обширна и ежегодно пополняется новыми научными разработками и подходами (Torrìeri, 2016). Срок годности является важной характеристикой всех пищевых продуктов, включая кондитерские изделия. Срок годности может быть определен как время между производством и упаковкой пищевого продукта и моментом, когда он становится неприемлемым для использования по назначению после хранения в определенных условиях окружающей среды. Соображения безопасности и качества формируют условия и максимальную продолжительность хранения и распределения пищевых продуктов. Описаны типичные сроки годности и лимитирующие внутренние и внешние факторы для пищевых продуктов, такие как активность воды, pH, химический состав, микробиологические показатели и упаковка (Мяконосов и соавт., 2021; Moschopoulou et al., 2019).

Предпочтения и образ жизни потребителей оказывают значительное влияние на рецептурный и химический состав пищевых продуктов, способы приготовления и потребления. Такое разнообразие продукции предусматривает необходимость относительно быстрого прогнозирования срока годности, то есть проведение ускоренных исследований для гарантирования безопасности продукции на протяжении всего срока годности.

<sup>1</sup> ТР ТС 021/2011. (2011). *О безопасности пищевой продукции*. <https://docs.cntd.ru/document/902320560>

<sup>2</sup> МУК 4.2.1847-04. (2004). *Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов*. <https://docs.cntd.ru/document/1200035982>

<sup>3</sup> Там же.

Для этого проводятся исследования микробиологических, физико-химических показателей и органолептических свойств (Taormina & Hardin, 2021). Для увеличения срока годности продуктов в контексте экологической устойчивости рассмотрены и обсуждены новые технологии, в том числе упаковка в модифицированной атмосфере, использование консервантов и современных упаковочных материалов (Soro et al., 2021).

Методы «ускоренного старения» широко используются для прогнозирования сроков годности различных пищевых продуктов и сырья для их изготовления. Модели Аррениуса и показатель  $Q_{10}$  используются для прогнозирования срока годности фруктов. Образцы хранили при трех температурах от 0 до 70 °С, измеряли вес, плотность, содержание аскорбиновой кислоты, титруемую кислотность и органолептические показатели. На примере апельсинов исследовано общее количество растворимых твердых веществ, при этом значение  $Q_{10}$  составило 1,92 (Khathir et al., 2019), твердость, общее содержание сахара, титруемая кислотность и содержание аскорбиновой кислоты имели высокую корреляцию с микробиологическими изменениями клубники (Wang et al., 2018), описаны кинетические модели изменений качества и прогнозирования срока годности киви (Zhang et al., 2021), установлено, что влияние температуры на константу скорости соответствовало закону Аррениуса для порошка плодов батуана,  $Q_{10}$  составил 3,90 (Ancheta et al., 2020).

Изучена кинетика изменения цветовых параметров и текстуры с точки зрения хрусткости и перекисного числа кокосовой стружки с использованием кинетических реакций нулевого, первого и второго порядка при хранении при различных температурах. Сделан прогноз срока годности с использованием ускоренного метода, составивший 144, 128 и 115 дней при температуре 35, 45 и 55 °С, соответственно. Срок годности продуктов, хранившихся при температуре окружающей среды — 159 дней, а в холодильнике — 194 дня. Полученные результаты дают возможность обосновать условия хранения кокосовой стружки (Choosuk et al., 2022; Clodoveo et al., 2021).

Значения  $Q_{10}$  и модель Аррениуса использовалась для оценки скорости химических превращений,

соответствующих различным условиям хранения (Prabhakar et al., 2022; Chathuri et al., 2019)<sup>4</sup>. Орех хранили при температурах 20, 30 и 40 °С и относительной влажности воздуха 30, 50, 75% и 80%, определено влияние температуры, относительной влажности и длительности хранения на изменение цвета. Наименьшие потери качества выявили при температуре 20 °С и относительной влажности 30 и 50%. На основе экспериментальных данных хранения картофеля при температурах 0, 4, 7 и 10 °С. установлены кинетические модели изменения показателей качества. Определены микробиологические и органолептические характеристики. Установлена наилучшая температура для хранения картофеля 0 °С (Zhao et al., 2021). Показано, что многовариантное ускоренное тестирование срока годности грибов шиитакэ обеспечивает более точную оценку срока годности по сравнению с ускоренным тестированием. На основе содержания фенолов, малонового диальдегида, микробиологических и органолептических показателей при температурах 5, 10 или 15 °С получены прогнозные значения срока годности для различных использованных моделей (Li et al., 2022; Севостьянова & Денилян, 2018).

Молочные продукты и молоко широко используются для изготовления кондитерских изделий и оказывают значительное влияние на срок годности, поэтому вопросы ускоренной оценки их качества являются актуальными. Исследованы содержание ненасыщенных жирных кислот, процессы окисления витаминов и липидов при температурах от 25 до 50 °С. Показана корреляция Пирсона между полиненасыщенными жирными кислотами и летучими компонентами. Спрогнозирован срок годности молочных продуктов с помощью многомерного ускоренного теста и модели Аррениуса. Размер частиц, содержание витамина А и различия в цвете предложено использовать в качестве индикаторов для прогнозирования срока годности (Jianga et al., 2021). Показано, что электронный нос Heracles II можно использовать для оценки качества молочных смесей. Перекисное число также использовано для оценки стабильности сухого молока (Hong-xin et al., 2019).

Существует множество методов стимуляции порчи пищевых продуктов, обычно основанных на химических превращениях и росте микроорганизмов. Для описания порчи пищевых продуктов и прогно-

4 Pecan Color Prediction Model. (2022). <https://tinyurl.com/uspecans>

зирования срока годности в соответствии с теорией временно-температурной устойчивости обоснованы химико-кинетическая модель 1-го порядка с уравнением Аррениуса и модель микробного роста Гомперца с уравнением Белеградака, которые (Xu & Lu, 2022).

Маркировка кондитерских изделий дает потребителям информацию о сроке годности продукта, однако она не учитывает факторы, которые могут сократить срок годности, например, нарушение температуры. Обоснованные кинетические модели и методы анализа данных имеют важное значение для прогнозирования срока годности с учетом изменчивости условий окружающей среды. Современные технологии отслеживания и инструменты прогнозирования могут дать точную оценку оставшегося срока годности продукта (Corradini, 2018; Roudit et al., 2019).

Общая теория временно-температурной устойчивости заключается в том, что эквивалентный коэффициент преобразования прошедшего времени для одного изотермического интервала между различными температурами связан только с температурами и равен отношению соответствующих сроков годности. Это продемонстрировано с помощью химической кинетической модели 1-го порядка и модели Гомперца для химических и микробиологических изменений молочных продуктов, стабилизированных микроорганизмами. Эквивалентный

коэффициент преобразования ключевого показателя качества среди релевантных температур эффект любой температурно-временной истории может быть аккумулирован в одну изотермическую зависимость, а оставшийся срок годности можно спрогнозировать. Показатели качества, изменяющиеся в результате химических превращений и развития микроорганизмов, подчиняются теории временно-температурной устойчивости, разработанной для прогнозирования срока годности пищевых продуктов с использованием технологий контроля времени и температуры. Необходимо различать научные исследования о стабильности и прогнозирование срока годности (Andrewes, 2022).

Целью исследования явилось изучение научных работ по вопросам прогнозирования срока годности, обобщение существующих данных по методологии оценки сохранности кондитерских изделий разных групп и сырья для их производства.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Протокол

В исследовании использован алгоритм в соответствии с протоколом PRISMA Sc. Алгоритм представлен на Рисунке 1.



Рисунок 1

Алгоритм исследования в соответствии с протоколом PRISMA Sc

From “Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement”, by D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff and D. G. Altman, 2009, *Methods of Systematic Reviews and Meta-Analysis*, 62(10), pp. 1006–1012 (<https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.005>). Copyright 2009 by Methods of Systematic Reviews and Meta-Analysis

## Базы данных и критерии включения источников

Объектами данного исследования являлись научные публикации российских и зарубежных авторов по вопросам прогнозирования сроков годности, в том числе в условиях «ускоренного старения». Обобщены данные по результатам исследований за последние 40 лет (с 1982 по 2021 гг) российских и зарубежных ученых. Поиск источников литературы осуществлялся в базах данных Scopus и eLibrary.ru.

При подготовке обзора использованы следующие ключевые слова: срок годности, кондитерские изделия, сырье, «ускоренное старение», прогнозирование. Анализировались источники на русском и английском языках, опубликованные в научных журналах, материалах конференций различных уровней, диссертациях, монографиях по исследуемой теме. В качестве метода исследования использовано обобщение результатов (Moher, et al., 2009).

## Процедура

Сначала, по ключевым словам, в БД Скопус, РИНЦ было выявлено 278 статей, и 7 публикаций были идентифицированы из других источников. Потом после уточнения запроса осталось 192. Далее анализ аннотаций позволил сократить до 95. По анализу полного текста в исследование вошло 72 публикации. 6 полнотекстовых статей исключены по причине недостаточности информации по прогнозным моделям. Статьи не включенные в БД Скопус, РИНЦ не анализировались, поскольку их исключение из этих баз данных ставит под сомнение валидность представленных в них результатов. Таким образом, в обзор включены 66 публикаций.

## Извлечение и анализ данных

Анализовалась информация по срокам годности пищевых продуктов, по критериям изменения качества пищевых продуктов, включающих показатели микробиологической порчи, показатели окислительной порчи такие как: перекисное, кислотные числа, индукционный период, по содержанию эссенциальных веществ, витаминов, омега-3 жирных кислот. Информация систематизировалась

по группам изделий: шоколад, мучные кондитерские изделия, карамель, сахаристые кондитерские изделия. В обзор включены прогнозные модели с математическим описанием и возможность их практического применения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Общие требования к качеству кондитерских изделий при хранении.** При хранении пищевых продуктов, включая разнообразные кондитерские изделия, происходят физико-химические, микробиологические изменения, обуславливающие ухудшение их органолептических показателей.

Результаты исследований изменения качества кондитерских изделий в процессе хранения, в том числе в условиях «ускоренного старения» опубликованы в отраслевых научных изданиях. На основании исследований, проведенных в институте кондитерской промышленности в 2000–2010 годах, разработана Методология комплексной оценки изменения качества кондитерских изделий с низкой влажностью (по показателям окислительной порчи) в течение заданных сроков годности (Осипов и соавт., 2010; Кондратьев и соавт., 2009; Скокан и соавт., 2001а; Аксенова и соавт., 2002; Скокан и соавт., 2001б; Кондратьев, 2002; Осипов, 2011).

Для систематизации и установления общих требований к качеству и его изменениям при хранении все кондитерские изделия можно условно разделить на три большие группы: с низкой, высокой и промежуточной влажностью. К изделиям с низкой влажностью условно принято относить мучные кондитерские изделия группы печенья (сахарное, затяжное и сдобное печенье, галеты, крекер и др.), шоколад (молочный, горький, темный, белый и др.), карамель, конфеты и др. Для жиросодержащих изделий с низкой влажностью преобладают процессы окислительной порчи жиров. Повышение температуры хранения приводит к увеличению скорости таких процессов. Поэтому, возможно моделирование окислительных процессов и достоверное прогнозирование срока годности этих групп изделий.

Наряду с окислительными процессами в пищевых продуктах протекают диффузионные, фермента-

тивные, гидролитические процессы, а также потеря питательных веществ и неферментативное потемнение.

Среди математических моделей, предложенных для описания изменения качества при хранении, чаще других используется модель Аррениуса, разработанная на основании положений термодинамики и принципов статистической механики (Степле, 2008; Labuza, 1982), которая связывает скорость химической реакции с изменениями температуры:

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (1)$$

где  $k_0$  — константа;  $E_a$  — энергия активации;  $R$  — газовая постоянная;  $T$  — абсолютная температура.

Метод «ускоренного старения», используемый для прогнозирования качества пищевых продуктов, основана на увеличении скорости процессов окислительной порчи при повышении температуры (Conte et al, 2020). При увеличении температуры хранения, окислительные процессы происходят с увеличенной скоростью и могут быть исследованы с использованием перекисного и кислотного чисел. Сравнивая скорость окислительных процессов при различных температурах хранения изделий можно получить условный коэффициент, показывающий, как изменяется срок годности изделий (Демидова & Ловачев, 1982; Дмитриченко и соавт., 1987; Шарафеддинова, 2000).

В качестве основного показателя для характеристики интенсивности окислительных процессов используют перекисное число, которое характеризует количество перекисных и гидроперекисных соединений — первичных продуктов окисления жиров, образовавшихся в результате взаимодействия кислорода воздуха и двойных связей ненасыщенных жирных кислот в присутствии различных типов антиоксидантов, веществ, ускоряющих окислительные реакции, а также продуктов окисления в жировой и нежировой фракциях кондитерских изделий. При этом условно принято, что скорость микробиологических и физических изменений минимальная и не влияет на изменение показателей безопасности при традиционном хранении изделий.

Жирнокислотный состав оказывает большое влияние на скорость окислительных процессов, поскольку ненасыщенные жирные кислоты подвержены

процессам окислительной порчи в большей степени по сравнению с жирами, содержащими, преимущественно, насыщенные жирные кислоты. Как правило, используют эмпирические методы, при этом критическое содержание влаги является фундаментальной переменной для оценки срока годности в условиях окружающей среды с использованием математических моделей. Исследования должны быть сосредоточены на моделировании и проверке срока годности, в том числе с использованием изотермы паропроницаемости и влагопоглощения при различных температурах хранения.

Для прогнозирования сохранности кондитерских изделий широко используется показатель качества активность воды. Величина активности воды, в основном, определяется их влажностью и содержанием сахара в рецептуре. Наряду с консервирующим эффектом сахар участвует в формировании органолептических, функциональных и технологических свойств продуктов, а также регулирует их кислотность, снижает активность воды, что увеличивает энергию связывания воды в материале и снижает вероятность развития микроорганизмов. Контролируя содержание влаги и значение показателя активности воды, можно прогнозировать интенсивность различных физико-химических, биохимических и микробиологических процессов при хранении продуктов, создавать «Карты стабильности кондитерских изделий» и производить продукты с требуемым сроком годности (Plotnikova et al, 2021; Barden & Decker, 2013; Nurhayati et al, 2018; Ekafitri et al, 2021).

Многообразные рецептуры шоколада и других видов кондитерских изделий содержат различное количество природных антиоксидантов (токоферолов, полифенолов и др.). Соответственно, скорость окислительных процессов будет различной, в том числе при повышенной температуре хранения.

С течением времени характеристики используемого сырья, рецептуры и технологии производства изменяются и фактические коэффициенты могут отличаться от ранее полученных. Поэтому, для определения актуальных коэффициентов необходимы исследования закономерностей изменения качества кондитерских изделий с различными идентификационными характеристиками, показателями пищевой ценности и химического состава в процессе их хранения.

Кроме этого, производство кондитерских изделий непрерывно в течение всего года, а сбор урожая сырья происходит один раз год. Сырье при хранении изменяет свои свойства, поэтому необходимо исследовать свойства сырья для возможности его использования для производства изделия с гарантированным и прогнозируемым сроком годности.

**Прогнозирование сохранности шоколада.** Вопросы ускоренных испытаний шоколадных кондитерских изделий на срок годности рассмотрены в работе (Subramaniam, 2009). Обоснованы режимы тестирования, используемые для оценки сенсорных изменений, а также конкретные методы исследований пралине, бисквитных и вафельных изделий. Для ряда кондитерских изделий, например, для шоколада, при повышении температуры происходят необратимые изменения внутренней структуры и поверхности. Поэтому, шоколад, конфеты с корпусами пралине, глазированные изделия и другие аналогичные изделия, которые теряют форму при повышении температуры хранения, могут быть исследованы условно только по показателям окислительной порчи.

На срок годности оказывают влияние множество факторов, среди которых ключевыми являются рецептурный состав, технология производства, способы и виды упаковки и условия хранения. Понимание взаимодействия этих факторов приводит к правильной оценке срока хранения и его испытаниям (Стеле, 2008; Ткешелашвили, 2017; Кондратьев, и соавт., 2019; Кондратенко и соавт., 2006). Учитывая возможную высокую микробиологическую обсемененность шоколада без добавлений, необходимо обратить внимание на то, что скорость изменения органолептических показателей в результате протекания микробиологических процессов может быть выше, чем окислительная порча жировой фракции. При повышенной температуре может быть получен прогнозируемый срок годности при условии обеспечения необходимого уровня органолептических и микробиологических показателей. Для каждого пищевого продукта необходим соответствующий метод определения срока годности.

Исследования шоколада (Осипов, 2011) с различным рецептурным составом в условиях «ускоренного старения» позволили установить математические зависимости влияния длительности хранения  $\tau$  на индукционный период  $T_{и}$  (Rancimat, 120 °C)

при заданном содержании общего сухого остатка какао:

$$30\%: T_{и} = -0,13\tau^3 + 1,66\tau^2 - 17,76\tau + 90,60; \quad (2)$$

$$35\%: T_{и} = -0,03\tau^3 + 0,74\tau^2 - 15,87\tau + 95,70; \quad (3)$$

$$40\%: T_{и} = 0,05\tau^3 + 0,42\tau^2 - 11,36\tau + 104,30; \quad (4)$$

$$50\%: T_{и} = 0,003\tau^3 - 0,057\tau^2 - 6,60\tau + 98,48; \quad (5)$$

$$55\%: T_{и} = 0,0011\tau^3 - 0,03\tau^2 - 6,44\tau + 103,75; \quad (6)$$

$$65\%: T_{и} = 0,0045\tau^3 - 0,08\tau^2 - 6,50\tau + 115,91; \quad (7)$$

Из уравнений можно получить значения индукционного периода  $T_{и}$  для определенного периода хранения и для определенного диапазона общего сухого остатка какао можно рассчитать коэффициент «ускоренного старения». Например, для образца с 30 % общего сухого остатка какао и длительностью хранения 3,6 мес., уравнение имеет вид:

$$T_{и} = -0,13 \cdot 3,6^3 + 1,66 \cdot 3,6^2 - 17,76 \cdot 3,6 + 90,60 = 42,12 \quad (8)$$

Прогнозируемый индукционный период жировой фракции молочного шоколада с массовой долей общего сухого остатка какао-продуктов 30 % после 3,6 мес. хранения составит 42,1 ч. Однако, в действительности, индукционный период отличается от прогнозируемого, поскольку качество какао бобов и другого сырья нестабильное. Разработаны прогнозные математические модели для шоколада, которые не учитывают процессы микробиологической порчи и изменения органолептических показателей при хранении изделий. При повышении массовой доли общего сухого остатка какао увеличивается срок годности, что позволяет обосновать рецептурный состав шоколада с заданным сроком годности. Таким образом, в соответствии с результатами работы (Осипов, 2011) срок годности может быть рассчитан путем экстраполяции математических зависимостей индукционного периода жировой фракции шоколада от длительности хранения.

На основании исследований изменения перекисного числа жировой фракции различных видов шоколада в процессе хранения при температурах 20 и 50 °C рассчитаны коэффициенты ускорения

окислительных реакций, которые составили для шоколада без добавлений от 3,6 до 5,2, для шоколада с молочными добавлениями от 3,6 до 4,0, для шоколада с молочными добавлениями и кофе от 5,0 до 5,2 (Кондратьев, 2002).

С использованием уравнения Аррениуса при температурах 30, 40, 50 °С на основе количества свободных жирных кислот спрогнозирован срок годности шоколада от 113 до 281 дней. Исследовано общее количество микроорганизмов (Hidayati et al., 2022). При хранении шоколада в условиях «ускоренного старения» содержание витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>5</sub>, В<sub>6</sub>, Е уменьшается в 1,5–2 раза быстрее по сравнению с традиционным хранением. При этом, после 6 месяцев традиционного хранения массовая доля витамина В<sub>1</sub> уменьшилась на 75%, а массовая доля витамина В<sub>2</sub> — на 60% (Кондратьев и соавт., 2018а; Кондратьев и соавт., 2018б; Кондратьев и соавт., 2018в).

### Прогнозирование сохранности мучных кондитерских изделий

Исследования перекисного числа могут быть использованы для оценки срока годности галет, изготовленных с использованием различных жиров с разной устойчивостью к окислению. Исследования показали, что для галет, изготовленных с использованием соевого масла, перекисное число жировой фракции повышается после 5 месяцев хранения, а для изделий с кондитерским жиром — на 8-м месяце хранения при одновременном ухудшении органолептических показателей (Кондратьев, 2002). На основании результатов исследований при температурах 20 °С и 50 °С рассчитаны коэффициенты «ускоренного старения». Для галет, изготовленных с использованием соевого масла этот коэффициент составил 3,7, а для галет, с кондитерским жиром — 3,6, а с пальмовым маслом — 2,7. Микробиологические показатели соответствовали требованиям безопасности, их влияние на срок годности не исследовано (Скокан и соавт., 2001).

Мучные кондитерские изделия группы печенья содержат значительное количество жира, свойства которого оказывают влияние на срок годности. Проведена оценка окислительной стабильности мучных кондитерских изделий с низкой влажностью, обоснована стратегия управления окис-

лительными процессами с помощью добавления антиоксидантов и использования упаковочных материалов. Приведены предполагаемые гипотетические механизмы реакций окисления и антиоксидантной активности, подтвержденные результатами исследований. Авторы указывают на большой объем результатов исследований, опубликованных в научной литературе до 1950-х годов (Кондратьев и соавт., 2018).

На срок годности оказывают влияние множество факторов, среди которых ключевыми являются: рецептурный состав, технология производства, способы и виды упаковки, условия хранения. Понимание взаимодействия этих факторов приводит к правильной оценке срока хранения и его испытаниям (Etsehiwot & Hall, 2016). Исследована динамика перекисного числа крекеров, изготовленных с использованием растительных масел с различными исходными уровнями перекисного числа жировой фракции, составляющими 5, 10 и 25 мЭкв/кг, при температурах хранения от 20 °С до 60 °С. Срок годности крекеров при заданной температуре рассчитывали по формуле:

$$SL = \frac{I_{\text{lim}} - I_0}{k_T}, \quad (9)$$

где  $I_0$  — сенсорная оценка восприятия прогорклости свежих крекеров;  $I_{\text{lim}}$  — сенсорная оценка прогорклых крекеров;  $k_T$  — константа прогорклости.

Таким образом, исходная окислительная стабильность жировой фракции оказывает значительное влияние на сохранность изделий (Manzocco, 2020).

Доказана антиоксидантная активность экстрактов зеленого чая, семян черной смородины и крапивы в мучных кондитерских изделиях. Растительные экстракты, как правило, не снижают органолептические свойства продуктов. Окислительную устойчивость жировой фракции изделий оценивали по перекисному и кислотному числам, анизидиновому числу и удельному УФ-поглощению (Kozłowska, et al., 2019; Zbikowska et al., 2018).

Исследован срок годности печенья из пшеничной муки и модифицированной маниоковой муки. Прогнозирование срока годности проведено в зависимости от содержания влаги и перекисного числа при различной температуре хранения. в различных видах упаковочных материалов с использованием

метода Аррениуса. Срок годности составил по перекисному числу жировой фракции печенья из модифицированной муки при температурах 15 °С, 30 °С и 45 °С в течение 217, 172 и 137 дней, соответственно. Спрогнозированные сроки годности контрольных образцов составили 333, 250 и 192 дней, соответственно (Rahman et al., 2019).

Рассчитаны коэффициенты изменения содержания витаминов в мучных кондитерских изделиях при «ускоренном старении» по сравнению с условиями традиционного хранения (Осипов и соавт., 2018). Показано, для уменьшения потерь витаминов в сахарном печенье необходимо использовать жиры с высокой окислительной стабильностью и высоким содержанием природных антиоксидантов. Исследованные мучные кондитерские изделия группы печенья показали различную окислительную устойчивость в зависимости от вида использованного жира. Показано, что использование метода ОХИТЕСТ позволяет прогнозировать срок годности изделий. Сенсорный анализ подтвердил экспериментальные данные (Caruso et al., 2017).

Для обеспечения необходимого срока годности используют антиоксиданты или продукты с их высоким содержанием. Оценку окислительной стабильности кекса проводили по содержанию гексаналя. Использование кокосового шрота поддерживало уровень гексаналя жировой фракции кекса ниже 0,3 мг/кг до 14 дней, в то время как для контрольного образца этот уровень превышен. Более 90% антиоксидантной активности сохранилось после прогрева при температуре 180 °С в течение 2 ч. (Rahman et al., 2019).

## Прогнозирование сохранности сахаристых кондитерских изделий

Проведены исследования (Spanenberg et al., 2019) карамели при хранении в условиях «ускоренного старения» при температуре 38 °С и относительной влажности окружающего воздуха 75%. Срок годности, определенный по признаку образования капель влаги на внешнем слое упакованных конфет, составил от 12 до 58 суток. Из-за отсутствия в научной литературе данных по хранению карамелей в нормальных условиях и методом «ускоренного старения» сравнение результатов представляет определенные трудности. Использование различ-

ных видов упаковки и условий хранения приводит к получению несравнимых результатов. Как правило, в промышленности для определения используются эмпирические методы. Срок годности леденцов при традиционных условиях хранения, составляющий от 7 до 31 месяцев, определен по формуле:

$$SL = 16A_{st}, \quad (10)$$

где  $SL$  — срок годности, мес.,  $A_{st}$  — срок годности при температуре 38 °С и относительной влажности 75%, мес.

Разработана надежная математическая модель диффузии влаги, применяемая для оценки срока годности и прогнозирования содержания влаги леденцовой карамели. Прогнозируемый и фактический срок годности при относительной влажности 75% составили при температуре 20 °С 41 и 39 дней, соответственно, а при 25 °С — 24 и 23 дня, соответственно (Spanenberg et al., 2022). Показано, что оптимизация рецептурного состава позволяет значительно увеличить срок годности карамели (Flavio et al., 2019).

Проведены исследования мармелада в условиях «ускоренного старения» при температуре 50 °С. Установлено, что содержание витаминов после 6 месяцев хранения изделий в «условиях ускоренного старения» в 1,5 раза меньше по сравнению с традиционным хранением (Руденко и соавт., 2018; Кондратьев, и соавт., 2018а; Кондратьев, и соавт., 2018в). Сделан прогноз срока годности образцов жевательных сантоловых конфет при температурах хранения 25, 35 и 45 °С с использованием ускоренного метода Q10. Образцы исследовали по физико-химическим (активность воды ( $a_w$ ), содержание влаги, общая кислотность, pH), органолептическим и микробиологическим показателям. При увеличении содержания влаги срок годности уменьшался (Renumarn & Choosuk, 2020). Метод «ускоренного старения» использован для прогнозирования срока годности энергетических батончиков на основе банана (Subramaniam, 2007).

Для ускоренного прогнозирования срока годности пирожных также использовано повышение температуры хранения. Срок годности определен с использованием уравнения Аррениуса при температурах 25, 35 и 45 °С. Исследовали содержание свободных жирных кислот, активность воды и ор-

ганолептические характеристики. Срок годности яблочных пирожных брауни составил 110, 54 и 28 дней в процессе хранения при температурах 25, 35 и 45 °С, соответственно (Choosuk et al., 2022; Pulungan et al., 2018; Man & Jones, 1994). Рассчитаны коэффициенты пересчета изменения содержания витаминов в мармеладе, печенье, шоколаде при «ускоренном старении» по сравнению с условиями традиционного хранения (см. Таблица 1).

**Таблица 1**

Коэффициенты пересчета изменения содержания витаминов в кондитерских изделиях при «ускоренном старении» на условия традиционного хранения

Витамины	Коэффициенты «ускоренного старения»		
	печенье	шоколад	мармелад
Никотинамид (В <sub>5</sub> )	1,8	1,4	1,6
Пиридоксин (В <sub>6</sub> )	1,3	1,3	-
Рибофлавин (В <sub>2</sub> )	1,4	1,4	1,5
Тиамин (В <sub>1</sub> )	1,5	1,3	-
Токоферол (Е)	2,1	1,3	-

Обобщены коэффициенты пересчета изменения перекисного числа в печенье и шоколаде при «ускоренном старении» при температуре 50 °С по сравнению с условиями традиционного хранения (см. Таблица 2).

**Таблица 2**

Коэффициенты пересчета перекисного числа жировой фракции кондитерских изделий при «ускоренном старении» на условия традиционного хранения

Коэффициенты «ускоренного старения»					
галеты, изготовленные с			шоколад		
соевым маслом	кондитерским жиром	пальмовым маслом	без добавлений	с молочными добавлениями	с молочными добавлениями и кофе
3,7	3,6	2,7	3,7	3,8	5,1

Обеспечение длительных сроков хранения кондитерских изделий с сохранением их структуры и свежести, а также без изменения вкусовых свойств является актуальной задачей для производителей. В процессе хранения такие продукты подвержены физическим и химическим трансформациям в ре-

зультате дегидратации или синерезиса, увлажнения поверхности, изменений показателей пищевой ценности и окислительных процессов. При увеличении температуры хранения скорость изменений качества изделий может существенно изменяться.

Скорость окислительных процессов зависит от химического состава пищевых продуктов и сырья для их изготовления, свойств упаковочных материалов и условий хранения. Выявленные в закономерности, определяющие сохранность различных групп кондитерских изделий, позволят эффективнее управлять процессами окисления жиров и миграции влаги и, следовательно, сроком годности. Единого метода определения срока годности не существует. Модель Аррениуса является наиболее приемлемой для прогнозирования срока годности кондитерских изделий в условиях «ускоренного старения».

Таким образом обобщены подходы к для прогнозирования срока годности шоколада, мучных и сахаристых кондитерских изделий в условиях «ускоренного старения».

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одной из важнейших проблем производителей кондитерских изделий является определение сроков годности. Это требует значительных материальных затрат и времени при проведении исследований, что особенно критично для изделий с длительными сроками годности. Результаты показывают, что выявленные закономерности изменений качества изделий в условиях ускоренного старения позволяют за короткий период спрогнозировать срок годности при традиционном хранении изделий. Изменение качества продуктов происходит в результате протекания микробиологических и окислительных процессов и зависят от химического состава, свойств упаковочных материалов и условий хранения. При увеличении температуры хранения изделий скорость окислительных и микробиологических процессов порчи значительно увеличивается.

Для оценки этих процессов используются различные показатели, в том числе массовая доля влаги, активность воды, перекисное и кислотные числа, индукционных период, микробиологические показатели. Жирнокислотный состав также оказывает

большое влияние на скорость окислительных процессов. Для установления коэффициентов «ускоренного старения», как правило, используют эмпирические методы.

Обобщены коэффициенты «ускоренного старения» по группам кондитерских изделий, полученные отечественными и зарубежными исследователями: по группе мучных кондитерских изделий (Manzocco, 2020, Choosuk et al., 2022, Кондратьев, 2002, Скокан, и соавт., 2001), по группе сахаристых кондитерских изделий (Spanemberg, et al., 2022, Руденко, 2018, Renumarn, et al., 2020). и по шоколаду (Осипов, 2011, Кондратьев, 2002, Hidayati et al., 2022). Полученные результаты способствуют более четкому пониманию методологии определения сроков годности кондитерских изделий.

## ВЫВОДЫ

В данном обзоре проведен анализ литературы и показаны основные подходы к прогнозированию срока годности различных групп пищевых продуктов и кондитерских изделий. Указанная тема достаточно хорошо теоретически проработана, однако практически реализованных методик недостаточно. Показаны основные подходы, использованные отечественными и зарубежными исследователями при оценке качества пищевых продуктов в условиях «ускоренного старения». Обзор определил ряд ключевых тем, касающихся способов прогнозирования сроков годности кондитерских изделий с низкой и промежуточной влажностью на основе показателей окислительной порчи, таких как перекисное и кислотное числа, индукционный период; на основе показателей процессов влагопереноса и микробиологической порчи, таких как массовая доля влаги и активность воды; на основе сохранности пищевой ценности и макронутриентов, таких как витамины, антиоксиданты и др.

Вместе с тем был выявлен ряд важных пробелов. Авторы полагают, что модель Аррениуса является наиболее приемлемой для прогнозирования срока годности кондитерских изделий в условиях «ускоренного старения». Обобщены коэффициенты «ускоренного старения» по группам кондитерских изделий, полученные отечественными и зарубежными исследователями.

Испытания продукции в условиях «ускоренного старения» позволяют сократить длительность исследований по сравнению со традиционными методами и могут быть использованы для оценки срока годности кондитерских изделий на предприятиях и в испытательных центрах.

Для повышения точности разрабатываемых методов необходимо увеличить базу данных результатов исследований закономерностей изменений качества кондитерских изделий при хранении в условиях «ускоренного старения» с обязательным подтверждением полученных результатов в условиях традиционного хранения, предусмотренных производителями изделий. Методы прогнозирования сроков годности востребованы предприятиями, производящими различные наименования пищевых продуктов.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Кондратьев Н. Б.:** методология, создание рукописи и её редактирование, создание черновика рукописи, формальный анализ.

**Руденко О. С.:** методология, концептуализация, создание рукописи и её редактирование, формальный анализ.

**Осипов М. В.:** сбор и администрирование данных, визуализация, создание черновика рукописи, формальный анализ.

**Баженова А. Е.:** создание рукописи и её редактирование, визуализация, формальный анализ.

## ЛИТЕРАТУРА

- Аксенова, Л. М., Скокан, Л. Е., Кондратьев, Н. Б., & Нечаев, А. П. (2002). Исследование изменений качества галет методом «ускоренного старения». *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 6–8.
- Демидова, И. Б., & Ловачев, Л. Н. (1982). Состав и изменение липидной фракции при хранении казеинатов натрия. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*, (1), 36–39.
- Дмитриченко, М. И., Запорожец, А. И., & Уголев, Д. А. (1987). Количественная оценка животного масла при хранении. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*, (1), 112–115.
- Кондратенко, В. В., Кондратенко, Т. Ю., & Чубит, Л. Ю. (2006). Концептуальная схема конструирования новых пищевых продуктов функционального назначения. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, (17), 62–71.
- Кондратьев, Н. Б. (2002). *Разработка способов прогнозирования качества кондитерских изделий с низкой влажностью по показателям окислительной порчи жиров* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Кондратьев, Н. Б., & Осипов М. В. (2009). Важнейшие аспекты формирования состава и сроки годности шоколада. В *Кондитерские изделия XXI века: Материалы седьмой международной конференции* (с. 113–114). М.: МПА.
- Кондратьев, Н. Б., Казанцев, Е. В., Осипов, М. В., Петрова, Н. А., & Руденко О. С. (2019). Исследование процесса влагопереноса в сырцовых пряниках с фруктовой начинкой, изготовленных с использованием различных видов модифицированного крахмала. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 35–46. <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.187>
- Кондратьев, Н. Б., Линовская, Н. В., Парашина, Ф. И., Руденко, О. С., & Савенкова, Т. В. (2018а). Особенности сохранности витаминов в шоколаде. *Вестник Мурманского государственного технического университета*, 21(3), 481–487. <https://doi.org/10.21445/1560-9278-2018-21-3-481-487>
- Кондратьев, Н. Б., Осипов, М. В., Белова, И. А., & Савенкова, Т. В. (2018б). Исследование содержания витаминов в кондитерских изделиях с целью обеспечения их сохранности. *Научные труды Северо-Кавказского Федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*, 20, 191–195.
- Кондратьев, Н. Б., Руденко, О. С., Крылова, Э. Н., Осипов, М. В., & Святославова, И. М. (2018в). Влияние технологических факторов на сохранность витаминов в кондитерских изделиях. *Вестник Уральского государственного университета*, 6(3), 49–56. <https://doi.org/10.14529/food180306>
- Мягконос, Д. С., Смыков, И. Т., Абрамов, Д. В., Делицкая, И. Н., & Овчинникова, Е. Г. (2021). Влияние молокосвертывающих ферментов животного и микробного происхождения на качество и срок хранения мягких сыров. *Пищевые системы*, 4(4), 286–293. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-286-293>
- Осипов, М. В. (2011). *Развитие технологии шоколада на основе совершенствования системы оценки его качества* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Осипов, М. В., Кондратьев, Н. Б., Руденко, О. С., & Аксенова, Л. М. (2010). Влияние массовой доли общего сухого остатка какао-продуктов на сроки годности шоколада. *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*, (5), 47–48.
- Руденко, О. С. (2018). *Развитие технологии кондитерских изделий с использованием фруктового сырья на основе совершенствования системы оценки качества* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Руденко, О. С., Парашина, Ф. И., Петрова, Н. А., Южакова, К. В., & Савенкова, Т. В. (2018). Изменение содержания витаминов при производстве и хранении мучных кондитерских изделий. *Пищевая промышленность*, (12), 46–48.
- Севостьянова, Е. М., & Данилян, А. В. (2018). Обзор методов «ускоренного старения» для обоснования сроков годности продуктов безалкогольной отрасли. *Пиво и напитки*, (3), 56–59.
- Силенина, С. (2019). Тренды российского кондитерского рынка. *Кондитерское и хлебопекарное производство*, (5–6), 14–16.
- Скокан, Л. Е., Кондратьев, Н. Б., Дегтярева, Н. А., Аксенова, Л. М., & Нечаев, А. П. (2001). Исследование процессов окисления липидов в образцах галет при длительном хранении. *Кондитерское производство*, (1), 40–41.
- Скокан, Л. Е., Кондратьев, Н. Б., Кнопова, С. И., Фунтикова, Н. С., Минчук, Н. О., Аксенова, Л. М., & Нечаев, А. П. (2001). Изучение состава галет для обоснования сохранности их качества. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (7), 38–40.
- Стеле, Р. (2008). *Срок годности пищевых продуктов: Расчет и испытание*. СПб.: Профессия.
- Ткешелашвили, М. Е. (2017). Шоколад и шоколадная глазурь, устойчивые к «поседению». *Кондитерское производство*, (4), 27–29.
- Шарафеддинова, А. А. (2000). Окислительные и гидролитические процессы, протекающие в пралиновых конфетах с заменителями какао-продуктов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (12), 37.
- Ancheta, A. K. G., Yaptenco, K. F., Mopera, L. E., Bainto, L. C., Lizardo, R. C. M., & Dizon, E. I. (2020). Accelerated shelf-life test (ASLT) of batuan fruit powder. *Food Research*, 4(4), 1254–1264. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(4\).018](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(4).018)
- Andrewes, P. (2022). Predicting the shelf-life of microbially-stabilised dairy products: what are the roles of stability studies, storage trials, ‘accelerated’ trials, and dairy

- science. *International Dairy Journal*, 125, Article 105239. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105239>
- Barden, L., & Decker, E. A. (2013). Lipid oxidation in low-moisture food: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(15), 2467–2482. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.848833>
- Cartier, P. (2009). Accelerated Shelf-life Testing. Accelerated testing will confirm the performance of a product from production to the consumer. *The Manufacturing Confectioner*, 8, 53.
- Caruso, M. C., Galgano, F., Colangelo, M. A., Condelli, N., Scarpa, T., Tolve, R., & Favati, F. (2017). Evaluation of the oxidative stability of bakery products by OXITEST method and sensory analysis. *European food research & technology*, 243(7), 1185–1191. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2831-9>
- Chathuri, S. M., Harshani Algama, C., Wimalasekara, R. L., Weerakoon, W. N. M. T. D. N., Jayathilaka, N., & Seneviratne, K. N. (2019). Improvement of oxidative stability and microbial shelf life of vanilla cake by coconut oil meal and sesame oil meal phenolic extracts. *Journal of Food Quality*, 2019, Article 1263629. <https://doi.org/10.1155/2019/1263629>
- Choosuk, N., Meesuk, P., Renumarn, P., Phungamngoen, C., & Jakkranuhwat, N. (2022). Kinetic modeling of quality changes and shelf life prediction of dried coconut chips. *Processes*, 10(7), Article 1392. <https://doi.org/10.3390/pr10071392>
- Clodoveo, M. L., Muraglia, M., Fino, V., Curci, F., Fracchiolla, G., Rina Corbo, F. F. (2021). Overview on innovative packaging methods aimed to increase the shelf-life of cook-chill foods. *Foods*, 10(9), Article 2086. <https://doi.org/10.3390/foods10092086>
- Conte, L., Milani, A., Calligaris, S., Rovellini, P., Lucci, P., & Nicoli, M. C. (2020). Temperature dependence of oxidation kinetics of extra virgin olive oil (EVOO) and shelf-life prediction. *Foods*, 9(3), Article 295. <https://doi.org/10.3390/foods9030295>
- Corradini, M. G. (2018). Shelf life of food products: From open labeling to real-time measurements. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 251–269. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012433>
- Ekafitri, R., Kurniawan, Y. R., Desnilasari, D., Surahman, D. N., & Indriati, A. (2021). Shelf-life assessment of energy banana bar using acceleration method with critical moisture content approach. *Food Science and Technology*, 41(1), 163–168. <https://doi.org/10.1590/fst.13120>
- Etsehiwot, G., & Hall, C. (2016) Oxidative stability and shelf life of foods containing oils and fats. In *Oxidative stability and shelf life of crackers, cookies, and biscuits department of plant sciences* (pp. 461–478). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-056-6.00012-4>
- Flavio, E., Spanemberg, M., Korzenowski, A., & Sellitto, M. A. (2019). Effects of sugar composition on shelf life of hard candy: Optimization study using D-optimal mixture design of experiments. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), Article e13213. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13213>
- Hidayati, S., Sartika, D., Sutoyo, S., & Fudholi, A. (2022). Predict the shelf life of instant colate in vacuum packing by using accelerated shelf life test (ASLT). *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 9(2), 443–450. <https://doi.org/10.18280/mmep.090220>
- Hong-xin, J., Wen-Liang C., Xiao-Yan, Q., & Mi-Ya, S. (2019). The stability of milk-based infant formulas during accelerated storage. *CyTA — Journal of Food*, 17(1), Article 960104. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1561519>
- Jianga Y., Yang, X., Jin, H., Feng, X., Tian, F., Song, Y., Ren, Y., Man, C., & Zhang, W. (2021) Shelf-life prediction and chemical characteristics analysis of milk formula during storage. *LWT — Food Science and Technology*, 144, Article 111268. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111268>
- Khathir R., Yuliana, R., & Putra, B. S. (2019). The shelf-life prediction of sweet orange based on its total soluble solid by using arrhenius and q 10 approach. *Materials Science and Engineering*, 506, Article 012058. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/506/1/012058>
- Kozłowska, M., Zbikowska, A., Szpicer, A., & Póltorak, A. (2019). Oxidative stability of lipid fractions of sponge-fat cakes after green tea extracts application. *Journal of Food Science and Technology*, 56(55), 2628–2638. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03750-5>
- Labuza, T. P., & Hartel, R. W. (2013). Shelf life of confectionery products. *The Manufacturing Confectioner*, 3, 55.
- Labuza, T. P., & Riboh, D. (1982). Theory and application of arrhenius kinetics to the predication of nutrient losses in foods. *Food Technology*, 36(10), 66–74.
- Li, Y., Ding, S., & Wang, Y. (2022). Shelf life predictive model for postharvest shiitake mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 330, Article 111099. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111099>
- Man, C., & Jones, A. A. (1994). *Shelf Life Evaluation of Foods*. Springer Science Business Medis. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2095-5>
- Manzocco, L. (2020). Modeling the effect of the oxidation status of the ingredient oil on stability and shelf life of low-moisture bakery products: The case study of crackers. *Foods*, 9(6), Article 749. <https://doi.org/10.3390/foods9060749>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., & Antes, G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses. *Plos Medicine*, 6(7), Article e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Moschopoulou, E., Moatsou, G., Syrokou, M. K., Paramithiotis, S., & Drosinos, E. H. (2019). Food Quality and Shelf Life. In *Food quality changes during shelf life* (pp. 1–13). Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0>
- Nurhayati, R., Pratiwi, R., Anandito, R. B. K., Novita Herawati, E. R., & Angwar, M. (2018). Accelerated shelf life testing of chocomix using critical moisture content approach. *Reaktor*, 18(2), 63–70.
- Plotnikova, I. V., Zharkova, I. M., Magomedov, G. O., Magomedov, M. G., Khvostov, A. A., & Miroshnichenko, E. N. (2021). Forecasting and quality control of confectionery products with the use of “water activity” indicator. *Earth*

- and *Environmental Science*, 640, Article 062003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/6/062003>
- Prabhakar, H., Bock, C. H., Kerr, W. L., & Kong, F. (2022). Pecan color change during storage: Kinetics and Modeling of the Processes. *Current Research in Food Science*, 5, 261–271. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.015>
- Pulungan, M. H., Sukmana, A. D., & Dewi, I. A. (2018). Shelf life prediction of apple brownies using accelerated method. *Earth and Environmental Science*, 131, Article 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/131/1/012019>
- Rahman, T., Sulaiman, N. F., Turmala, E., Andriansyah, R. C. E., Luthiyanti, R., & Triyono, A. (2019). Shelflife prediction of biscuits prepared from modified suweg (*Amorphophallus campanulatus* B) flour using Arrhenius model. *Earth and Environmental Science*, 251, Article 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/251/1/012035>
- Renumarn, P., & Choosuk, N. (2020). Influence of packaging and storage conditions on the quality and shelf-life of chewy santol (*Kraton-Yee*) candies. *Web of Conferences*, 141, Article 02002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014102002>
- Roduit, B., Albert Luyet, C., Hartmann, M., Folly, P., Sarbach, A., Dejeaifve, A., Dobson, R., Schroeter, N., Voret, O., Dabros, M., & Baltensperger, R. (2019). Continuous monitoring of shelf lives of materials by application of data loggers with implemented kinetic parameters. *Molecules*, 24(12), Article 2217. <https://doi.org/10.3390/molecules24122217>
- Soro, A. B., Noore, S., Hannon, S., Whyte, P., Bolton, D. J., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2021). Current sustainable solutions for extending the shelf life of meat and marine products in the packaging process. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100722. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100722>
- Spanemberg, F. E. M., Korzenowski, A. L., & Sellitto, M. A. (2019). Effects of sugar composition on shelf life of hard candy: Optimization study using D-optimal mixture design of experiments. *Journal of Food Process Engineering*, 45(5), Article e13213. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13213>
- Spanemberg, F. E. M., Sellitto, M. A., Porto, L. M., Cruz dos Santos, A., & Lemos Souza, Á. C. (2022). Shelf life estimation of glassy confections using moisture sorption isotherms. *Journal of Food Process Engineering*, 45(5), Article e14024. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14024>
- Subramaniam, P. (2007). Determining Shelf Life of Confectionery Products. *The Manufacturing Confectioner*, 6, 85.
- Subramaniam, P. J. (2009). Science and Technology of Enrobed and Filled Chocolate, Confectionery and Bakery Products. In *Shelf-life prediction and testing* (pp. 233–254). Leatherhead Food International, UK. <https://doi.org/10.1533/9781845696436.2.233>
- Taormina, P. J., & Hardin, M. D. (2021). *Food Safety and Quality-Based Shelf-life of Perishable Foods*. Springer.
- Torrieri, E. (2016). Storage stability: Shelf life testing. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 188–192). University of Naples Federico II, Portici. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00666-8>
- Wang, W., Hu, W., Ding, T., Ye, X., & Liu, D. (2018). Shelf-life prediction of strawberry at different temperatures during storage using kinetic analysis and model development. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(8), Article e13693. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13693>
- Xu, Y., & Lu, L. (2022). The time-temperature tolerance theory behind thermal kinetic models for shelf-life prediction of common foods. *Food Science and Technology*, 42, Article e32722. <https://doi.org/10.1590/fst.32722>
- Zbikowska, A., Kozłowska, M., Poltorak, A., Kowalska, M., Rutkowska, J., & Kupiec, M. (2018). Effect of addition of plant extracts on the durability and sensory properties of oat flake cookies. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2(134), 1101–1111. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7301>
- Zhang, W., Luo, Z., Wang, A., Gu, X., & Lv, Z. (2021). Kinetic models applied to quality change and shelf life prediction of kiwifruits. *LWT – Food Science and Technology*, 138, Article 110610. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110610>
- Zhao, S., Han, X., Liu, B., Wang, S., Guan, W., Wu, Z., & Theodorakis, P. E. (2022). Shelf-life prediction model of fresh-cut potato at different storage temperatures. *Journal of Food Engineering*, 317, Article 110867. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110867>

## REFERENCES

- Aksenova, L. M., Skokan, L. E., Kondrat'ev, N. B., & Nechaev, A. P. (2002). Issledovanie izmeneniya kachestva galet metodom "uskorennoy stareniya" [Investigation of changes in the quality of biscuits by the method of "accelerated aging"]. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of Farm Products], (4), 6–8.
- Demidova, I. B., & Lovachev, L. N. (1982). Sostav i izmeneniya lipidnoi fraktsii pri khraneniye kazeinatov natriya [Composition and changes in the lipid fraction during storage of sodium caseinates]. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya* [News of Universities. Food technology], (1), 36–39.
- Dmitrichenko, M. I., Zaporozhets, A. I., & Ugolev, D. A. (1987). Kolichestvennaya otsenka zhivotnogo masla pri khraneniye [Quantitative assessment of animal oil during storage]. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya* [News of Universities. Food technology], (1), 112–115.
- Kondratenko, V. V., Kondratenko, T. Yu., & Chubit, L. Yu. (2006). Kontseptual'naya skhema konstruirovaniya novykh pishchevykh produktov funktsional'nogo naznacheniya [Conceptual scheme of designing new functional food products]. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], (17), 62–71.
- Kondrat'ev, N. B. (2002). *Razrabotka sposobov prognozirovaniya kachestva konditerskikh izdelii s nizkoi vlazhnost'yu po*

- pokazatelyam okislitel'noi porchi zhirov [Development of methods for predicting the quality of confectionery products with low humidity in terms of oxidative fat spoilage]* [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Russia.
- Kondrat'ev, N. B., & Osipov M. V. (2009). Vazhneishie aspekty formirovaniya sostava i sroki godnosti shokolada [The most important aspects of the formation of the composition and shelf life of chocolate]. In Konditerskie izdeliya XXI veka: Materialy sed'moi mezhdunarodnoi konferentsii [Confectionery products of the 21th century: Materials of the seventh International Conference] (pp. 113–114). Moscow: MPA.
- Kondrat'ev, N. B., Kazantsev, E. V., Osipov, M. V., Petrova, N. A., & Rudenko O. S. (2019). Issledovanie protsesa vlagoperenosa v syrtovykh pryanykakh s fruktovoi nachinkoi, izgotovlennykh s ispol'zovaniem razlichnykh vidov modifitsirovannogo krakhmala [Investigation of the moisture transfer process in raw gingerbread cakes with fruit filling made using various types of modified starch]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and processing of Farm Products]*, (4), 35–46. <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.187>
- Kondrat'ev, N. B., Linovskaya, N. V., Parashina, F. I., Rudenko, O. S., & Savenkova, T. V. (2018a). Osobennosti sokhrannosti vitaminov v shokolade [Features of the preservation of vitamins in chocolate]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Murmansk State Technical University]*, 21(5), 481–487. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-3-481-487>
- Kondrat'ev, N. B., Osipov, M. V., Belova, I. A., & Savenkova, T. V. (2018b). Issledovanie sodержaniya vitaminov v konditerskikh izdeliyakh s tsel'yu obespecheniya ikh sokhrannosti [Study of the vitamin content in confectionery products in order to ensure their safety]. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo Federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya [Scientific works of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking]*, 20, 191–195.
- Kondrat'ev, N. B., Rudenko, O. S., Krylova, E. N., Osipov, M. V., & Svyatoslavova, I. M. (2018c). Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na sokhrannost' vitaminov v konditerskikh izdeliyakh [The influence of technological factors on the safety of vitamins in confectionery]. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Ural State University]*, 6(3), 49–56. <https://doi.org/10.14529/food180306>
- Myagkonosov, D. S., Smykov, I. T., Abramov, D. V., Delitskaya, I. N., & Ovchinnikova, E. G. (2021). Vliyanie molokosvertyvayushchikh fermentov zhivotnogo i mikrobnogo proiskhozhdeniya na kachestvo i srok khraneniya myagkikh syrov [The effect of milk-converting enzymes of animal and microbial origin on the quality and shelf life of soft cheeses]. *Pishchevye sistemy [Food Systems]*, 4(4), 286–293. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-286-293>
- Osipov, M. V. (2011). *Razvitie tekhnologii shokolada na osnove sovershenstvovaniya sistemy otsenki ego kachestva [Development of chocolate technology based on the improvement of its quality assessment system]* [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Russia.
- Osipov, M. V., Kondrat'ev, N. B., Rudenko, O. S., & Aksenova, L. M. (2010). Vliyanie massovoi doli obshchego sukhnogo ostatka kakao-produktov na sroki godnosti shokolada [The effect of the mass fraction of the total dry residue of cocoa products on the shelf life of chocolate]. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences]*, (5), 47–48.
- Rudenko, O. S. (2018). *Razvitie tekhnologii konditerskikh izdelii s ispol'zovaniem fruktovykh syr'ya na osnove sovershenstvovaniya sistemy otsenki kachestva [Development of confectionery technology using fruit raw materials based on improving the quality assessment system]* [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Russia.
- Rudenko, O. S., Parashina, F. I., Petrova, N. A., Yuzhakova, K. V., & Savenkova, T. V. (2018). Izmenenie sodержaniya vitaminov pri proizvodstve i khranении muchnykh konditerskikh izdelii [Changes in the content of vitamins in the production and storage of flour confectionery products]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, (12), 46–48.
- Sevost'yanova, E. M., & Danilyan, A. V. (2018). Obzor metodov «uskorennoy stareniya» dlya obosnovaniya srokov godnosti produktov bezalkogol'noi otrasli [Review of the methods of «accelerated aging» to justify the shelf life of non-alcoholic products]. *Pivo i napitki [Beer and Drinks]*, (3), 56–59.
- Sharafeddinova, A. A. (2000). Okislitel'nye i gidroliticheskie protsessy, protekayushchie v pralinovykh konfetakh s zamenitel'yami kakao-produktov [Oxidative and hydrolytic processes occurring in praline candies with cocoa substitutes]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and processing of Farm Products]*, (12), 37.
- Silenina, S. (2019). Trendy rossiiskogo konditerskogo rynka [Trends of the Russian confectionery market]. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo [Confectionery and Bakery Production]*, (5–6), 14–16.
- Skokan, L. E., Kondrat'ev, N. B., Degtyareva, N. A., Aksenova, L. M., & Nechaev, A. P. (2001). Issledovanie protsessov okisleniya lipidov v obraztsakh galet pri dlitel'nom khranении [Investigation of lipid oxidation processes in biscuit samples during long-term storage]. *Konditerskoe proizvodstvo [Confectionery Production]*, (1), 40–41.
- Skokan, L. E., Kondrat'ev, N. B., Knopova, S. I., Funtikova, N. S., Minchuk, N. O., Aksenova, L. M., & Nechaev, A. P. (2001). Izuchenie sostava galet dlya obosnovaniya sokhrannosti ikh kachestva [Study of the composition of biscuits to justify the preservation of their quality]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and processing of Farm Products]*, (7), 38–40.
- Stele, R. (2008). *Srok godnosti pishchevykh produktov: Raschet i ispytanie [Shelf life of food products: Calculation and testing]*. S-Petersburg: Professiya.
- Tkeshelashvili, M. E. (2017). *Shokolad i shokoladnaya glazur', ustoichivye k «posedeniyu» [Chocolate and chocolate*

- glaze resistant to “graying”]. *Konditerskoe proizvodstvo [Confectionery Production]*, (4), 27–29.
- Ancheta, A. K. G., Yaptenco, K. F., Mopera, L. E., Bainto, L. C., Lizardo, R. C. M., & Dizon, E. I. (2020). Accelerated shelf-life test (ASLT) of batuan fruit powder. *Food Research*, 4(4), 1254–1264. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(4\).018](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(4).018)
- Andrewes, P. (2022). Predicting the shelf-life of microbially-stabilised dairy products: what are the roles of stability studies, storage trials, ‘accelerated’ trials, and dairy science. *International Dairy Journal*, 125, Article 105239. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105239>
- Barden, L., & Decker, E. A. (2013). Lipid oxidation in low-moisture food: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(15), 2467–2482. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.848833>
- Cartier, P. (2009). Accelerated Shelf-life Testing. Accelerated testing will confirm the performance of a product from production to the consumer. *The Manufacturing Confectioner*, 8, 53.
- Caruso, M. C., Galgano, F., Colangelo, M. A., Condelli, N., Scarpa, T., Tolve, R., & Favati, F. (2017). Evaluation of the oxidative stability of bakery products by OXITEST method and sensory analysis. *European food research & technology*, 243(7), 1183–1191. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2831-9>
- Chathuri, S. M., Harshani Algama, C., Wimalasekara, R. L., Weerakoon, W. N. M. T. D. N., Jayathilaka, N., & Seneviratne, K. N. (2019). Improvement of oxidative stability and microbial shelf life of vanilla cake by coconut oil meal and sesame oil meal phenolic extracts. *Journal of Food Quality*, 2019, Article 1263629. <https://doi.org/10.1155/2019/1263629>
- Choosuk, N., Meesuk, P., Renumarn, P., Phungamngoen, C., & Jakkranuhwat, N. (2022). Kinetic modeling of quality changes and shelf life prediction of dried coconut chips. *Processes*, 10(7), Article 1392. <https://doi.org/10.3390/pr10071392>
- Clodoveo, M. L., Muraglia, M., Fino, V., Curci, F., Fracchiolla, G., Rina Corbo, F. F. (2021). Overview on innovative packaging methods aimed to increase the shelf-life of cook-chill foods. *Foods*, 10(9), Article 2086. <https://doi.org/10.3390/foods10092086>
- Conte, L., Milani, A., Calligaris, S., Rovellini, P., Lucci, P., & Nicoli, M. C. (2020). Temperature dependence of oxidation kinetics of extra virgin olive oil (EVOO) and shelf-life prediction. *Foods*, 9(3), Article 295. <https://doi.org/10.3390/foods9030295>
- Corradini, M. G. (2018). Shelf life of food products: From open labeling to real-time measurements. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 251–269. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012433>
- Ekafitri, R., Kurniawan, Y. R., Desnilasari, D., Surahman, D. N., & Indriati, A. (2021). Shelf-life assessment of energy banana bar using acceleration method with critical moisture content approach. *Food Science and Technology*, 41(1), 163–168. <https://doi.org/10.1590/fst.13120>
- Etsehiwot, G., & Hall, C. (2016) Oxidative stability and shelf life of foods containing oils and fats. In *Oxidative stability and shelf life of crackers, cookies, and biscuits department of plant sciences* (pp. 461–478). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-056-6.00012-4>
- Flavio, E., Spanemberg, M., Korzenowski, A., & Sellitto, M. A. (2019). Effects of sugar composition on shelf life of hard candy: Optimization study using D-optimal mixture design of experiments. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), Article e13213. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13213>
- Hidayati, S., Sartika, D., Sutoyo, S., & Fudholi, A. (2022). Predict the shelf life of instant colate in vacuum packing by using accelerated shelf life test (ASLT). *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 9(2), 443–450. <https://doi.org/10.18280/mmep.090220>
- Hong-xin, J., Wen-Liang C., Xiao-Yan, Q., & Mi-Ya, S. (2019). The stability of milk-based infant formulas during accelerated storage. *CyTA – Journal of Food*, 17(1), Article 960104. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1561519>
- Jianga Y., Yang, X., Jin, H., Feng, X., Tian, F., Song, Y., Ren, Y., Man, C., & Zhang, W. (2021) Shelf-life prediction and chemical characteristics analysis of milk formula during storage. *LWT – Food Science and Technology*, 144, Article 111268. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111268>
- Khathir R., Yuliana, R., & Putra, B. S. (2019). The shelf-life prediction of sweet orange based on its total soluble solid by using arrhenius and q 10 approach. *Materials Science and Engineering*, 506, Article 012058. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/506/1/012058>
- Kozłowska, M., Zbikowska, A., Szpicer, A., & Półtorak, A. (2019). Oxidative stability of lipid fractions of sponge-fat cakes after green tea extracts application. *Journal of Food Science and Technology*, 56(55), 2628–2638. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03750-5>
- Labuza, T. P., & Hartel, R. W. (2013). Shelf life of confectionery products. *The Manufacturing Confectioner*, 3, 55.
- Labuza, T. P., & Riboh, D. (1982). Theory and application of arrhenius kinetics to the prediction of nutrient losses in foods. *Food Technology*, 36(10), 66–74.
- Li, Y., Ding, S., & Wang, Y. (2022). Shelf life predictive model for postharvest shiitake mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 330, Article 111099. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111099>
- Man, C., & Jones, A. A. (1994). *Shelf Life Evaluation of Foods*. Springer Science Business Medis. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2095-5>
- Manzocco, L. (2020). Modeling the effect of the oxidation status of the ingredient oil on stability and shelf life of low-moisture bakery products: The case study of crackers. *Foods*, 9(6), Article 749. <https://doi.org/10.3390/foods9060749>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., & Antes, G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses. *Plos Medicine*, 6(7), Article e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Moschopoulou, E., Moatsou, G., Syrokou, M. K., Paramithiotis, S., & Drosinos, E. H. (2019). Food Quality and Shelf Life. In *Food quality changes during shelf life* (pp. 1–13). Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0>

- Nurhayati, R., Pratiwi, R., Anandito, R. B. K., Novita Herawati, E. R., & Angwar, M. (2018). Accelerated shelf life testing of chocomix using critical moisture content approach. *Reaktor*, 18(2), 63–70.
- Plotnikova, I. V., Zharkova, I. M., Magomedov, G. O., Magomedov, M. G., Khvostov, A. A., & Miroschnichenko, E. N. (2021). Forecasting and quality control of confectionery products with the use of “water activity” indicator. *Earth and Environmental Science*, 640, Article 062003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/6/062003>
- Prabhakar, H., Bock, C. H., Kerr, W. L., & Kong, F. (2022). Pecan color change during storage: Kinetics and Modeling of the Processes. *Current Research in Food Science*, 5, 261–271. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.015>
- Pulungan, M. H., Sukmana, A. D., & Dewi, I. A. (2018). Shelf life prediction of apple brownies using accelerated method. *Earth and Environmental Science*, 131, Article 012019 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/131/1/012019>
- Rahman, T., Sulaiman, N. F., Turmala, E., Andriansyah, R. C. E., Luthfiyanti, R., & Triyono, A. (2019). Shelflife prediction of biscuits prepared from modified suweg (*Amorphophallus campanulatus* B) flour using Arrhenius model. *Earth and Environmental Science*, 251, Article 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/251/1/012035>
- Renumarn, P., & Choosuk, N. (2020). Influence of packaging and storage conditions on the quality and shelf-life of chewy santol (Kraton-Yee) candies. *Web of Conferences*, 141, Article 02002 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014102002>
- Roduit, B., Albert Luyet, C., Hartmann, M., Folly, P., Sarbach, A., Dejeaifve, A., Dobson, R., Schroeter, N., Voret, O., Dabros, M., & Baltensperger, R. (2019). Continuous monitoring of shelf lives of materials by application of data loggers with implemented kinetic parameters. *Molecules*, 24(12), Article 2217. <https://doi.org/10.3390/molecules24122217>
- Soro, A. B., Noore, S., Hannon, S., Whyte, P., Bolton, D. J., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2021). Current sustainable solutions for extending the shelf life of meat and marine products in the packaging process. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100722. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100722>
- Spanemberg, F. E. M., Korzenowski, A. L., & Sellitto, M. A. (2019). Effects of sugar composition on shelf life of hard candy: Optimization study using D-optimal mixture design of experiments. *Journal of Food Process Engineering*, 45(5), Article e13213. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13213>
- Spanemberg, F. E. M., Sellitto, M. A., Porto, L. M., Cruz dos Santos, A., & Lemos Souza, Á. C. (2022). Shelf life estimation of glassy confections using moisture sorption isotherms. *Journal of Food Process Engineering*, 45(5), Article e14024. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14024>
- Subramaniam, P. (2007). Determining Shelf Life of Confectionery Products. *The Manufacturing Confectioner*, 6, 85.
- Subramaniam, P. J. (2009). Science and Technology of Enrobed and Filled Chocolate, Confectionery and Bakery Products. In *Shelf-life prediction and testing* (pp. 233–254). Leatherhead Food International, UK. <https://doi.org/10.1533/9781845696436.2.233>
- Taormina, P. J., & Hardin, M. D. (2021). *Food Safety and Quality-Based Shelf-life of Perishable Foods*. Springer.
- Torrieri, E. (2016). Storage stability: Shelf life testing. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 188–192). University of Naples Federico II, Portici. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00666-8>
- Wang, W., Hu, W., Ding, T., Ye, X., & Liu, D. (2018). Shelf-life prediction of strawberry at different temperatures during storage using kinetic analysis and model development. *Journal of Food Processing and preservation*, 42(8), Article e13693. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13693>
- Xu, Y., & Lu, L. (2022). The time-temperature tolerance theory behind thermal kinetic models for shelf-life prediction of common foods. *Food Science and Technology*, 42, Article e32722. <https://doi.org/10.1590/fst.32722>
- Zbikowska, A., Kozłowska, M., Poltorak, A., Kowalska, M., Rutkowska, J., & Kupiec, M. (2018). Effect of addition of plant extracts on the durability and sensory properties of oat flake cookies. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2(134), 1101–1111. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7301>
- Zhang, W., Luo, Z., Wang, A., Gu, X., & Lv, Z. (2021). Kinetic models applied to quality change and shelf life prediction of kiwifruits. *LWT – Food Science and Technology*, 138, Article 110610. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110610>
- Zhao, S., Han, X., Liu, B., Wang, S., Guan, W., Wu, Z., & Theodorakis, P. E. (2022). Shelf-life prediction model of fresh-cut potato at different storage temperatures. *Journal of Food Engineering*, 317, Article 110867. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110867>