

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА ШАЛФЕЯ НА ОКИСЛИТЕЛЬНУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ СЛИВОЧНОГО МАСЛА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Алексей Алексеевич Голубев, аспирант

E-mail: altgolubec@gmail.com

Нина Ивановна Дунченко, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры

E-mail: dunchenko.nina@ya.ru

Валентина Сергеевна Янковская, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой

E-mail: vs3110@yandex.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, г. Москва

Целью исследования являлось изучение влияния экстракта шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.) на окислительную стабильность сливочного масла при различных температурах (4, 25 и 40 °C), а также математическое моделирование кинетики окислительных процессов. Экстракт шалфея был внесен в масло в концентрации, обеспечивающей содержание полифенолов в 20 мг эквивалента галловой кислоты на 100 г продукта. В процессе хранения оценивали перекисное число, анизидиновое число, и кислотное число. Установлено, что добавление экстракта шалфея достоверно замедляло рост данных показателей во всех температурных режимах по сравнению с контрольной группой, что подтверждает его антиоксидантное действие. На основе данных кинетики накопления первичных и вторичных продуктов окисления построены модели псевдопервого порядка, а также уравнения Аррениуса, позволившие рассчитать энергию активации первичных и вторичных реакций окисления. Полученные модели использованы для прогнозирования окислительной стабильности масла до достижения интегрального показателя окислительной порчи ТOTOX. Установлено, что экстракт шалфея обладает антиоксидантными свойствами и предотвращает перекисную порчу молочных липидов, особенно при повышенных температурах. Таким образом, экстракт шалфея может быть рекомендован в качестве натурального антиоксиданта для повышения стабильности сливочного масла.

Ключевые слова: сливочное масло, шалфей лекарственный, окислительная стабильность, фенольные соединения, математическое моделирование, энергия активации

Для цитирования: Голубев, А. А. Влияние экстракта шалфея на окислительную стабильность сливочного масла / А. А. Голубев, Н. И. Дунченко, В. С. Янковская // Молочная промышленность. 2025. № 2. с. 86–92. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-2-31>

ВВЕДЕНИЕ

Окислительная стабильность жировых продуктов, таких как сливочное масло, является ключевым фактором, определяющим безопасность и органолептические характеристики. Несмотря на высокую долю насыщенных и моновенасыщенных жирных кислот, сливочное масло, являясь эмульсионной пищевой системой типа «вода в масле», подвержено окислительным процессам в процессе хранения, что обусловлено присутствием водной фазы, способствующей инициированию автоокисления липидов на границе раздела фаз [1, 2].

Процессы автоокисления и гидролиза жиров приводят к накоплению перекисей, альдегидов, кетон и свободных жирных кислот, которые вызывают прогоркание, ухудшение вкуса и запаха, снижение питательной ценности продукта [3]. В частности, накопление свободных жирных кислот может свидетельствовать о протекании гидролитической порчи вследствие ферментативной активности или воздействия влаги [4]. Окислительная

нестабильность становится особенно выраженной при нарушении условий хранения, воздействии света, кислорода и повышенных температур [5].

В последние годы ведутся активные исследования, направленные на поиск натуральных антиоксидантов, обладающих способностью замедлять окислительные процессы в жиросодержащих пищевых системах. Наибольший научный интерес представляют растительные экстракты, содержащие полифенольные соединения, флавоноиды и фенольные кислоты, которые демонстрируют выраженную антиоксидантную активность и потенциально могут повысить стабильность сливочного масла при хранении [6–8].

Одним из перспективных источников натуральных антиоксидантов является шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.), который содержит карнозоловую, розмариновую, кофейную кислоты, флавоноиды и терпеновые соединения, известные своей способностью ингибировать перекисное окисление липидов [9]. Добавление шалфея

и других травяных экстрактов уже доказало свою эффективность в молочных продуктах, таких как йогурты и сыры, улучшая их антиоксидантную стабильность и замедляя процессы порчи [10].

Таким образом, целью настоящего исследования является оценка влияния экстракта шалфея лекарственного на окислительную и гидролитическую стабильность сливочного масла при различных температурах. В работе предполагается изучение перекисного числа, *p*-анизидинового числа и кислотного числа с последующим кинетическим моделированием стабильности масла по температурной зависимости процесса окисления.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Приготовление экстракта. Побеги шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.) собирали в фазе массового цветения на втором году вегетации. Сырье высушивали при 40 °С без доступа солнечного света до остаточной влажности 8–10 %. После сушки вручную удаляли крупные стебли, листья и соцветия измельчали и просеивали через сито (размер ячеек – 0,4 мм²).

Экстракцию проводили методом Сокслета в течение 3,7 часов, используя 10 г сухого растительного материала и 250 мл 74 % этанола. Растительное сырье помещали в фильтровальную бумагу. После экстракции раствор фильтро-

вали и концентрировали на ротационном испарителе при сниженном давлении при температуре кипения 75,4 °С до полного удаления этанола.

Для определения общего содержания фенольных соединений и общего содержания флавоноидов в образцах применяли метод Фолина-Чокальтеу (в мг эквивалента галловой кислоты на грамм сухого вещества (мг ГАЭ/г СВ)) и колориметрический метод с алюминием (в мг эквивалента катехина на грамм сухого вещества (мг КАТЭ/г СВ)), соответственно [11, 12].

Выработка масла. Сливочное масло получали взбиванием сливок с массовой долей жира 33 % (300 г) с использованием планетарного лабораторного миксера KitchenAid (США) при температуре 10–15 °С в течение 22–24 мин. Экстракт шалфея добавляли на этапе механической обработки масла, вводя водную фракцию и распределяя ее с помощью эмульгирующей насадки. Жидкий экстракт (массовой долей сухих веществ 2 %) предварительно разбавляли до концентрации, обеспечивающей содержание жира в готовом продукте на уровне 80 % и концентрацию фенольных соединений 20 мг ГАЭ на 100 г масла. В контрольных образцах вместо экстракта добавляли дистиллированную воду в таких же количествах.

Готовый продукт формовали, упаковывали в алюминиевую фольгу и хранили при температурах 4, 25 и 40 °С в течение 35 суток.

Источник изображения: freepik.com



Качественные показатели окислительной стабильности. Кислотное число (Acid Value, AV), характеризующее содержание свободных жирных кислот, определяли титриметрическим методом согласно ГОСТ 31758-2012 «Масла и жиры животные и растительные. Метод определения кислотного числа».

Перекисное число (Peroxide Value, PV), отражающее содержание первичных продуктов окисления липидов (гидроперекисей), определяли йодометрическим методом согласно ГОСТ 31759-2012 «Масла и жиры животные и растительные. Метод определения перекисного числа». Перекисное число выражали в миллимолях активного кислорода на 1 кг жира (ммоль O_2 /кг).

Анизидиновое число (*p*-Anisidine Value, pAV), оценивающее содержание вторичных продуктов окисления (альдегидов), определяли спектрофотометрическим методом согласно ГОСТ 32658-2014 «Масла и жиры животные и растительные. Определение анизидинового числа». Пробу масла растворяли в изоктане, измеряли оптическую плотность исходного раствора при 350 нм. Затем к раствору добавляли раствор *p*-анизидина, выдерживали в темноте 10 мин и повторно измеряли оптическую плотность при 350 нм. Анизидиновое число рассчитывали с учетом массы пробы и разности оптических плотностей.

TOTOX (Total Oxidation Value) — это сводный показатель общей окислительной порчи жиров, объединяющий данные о первичных и вторичных продуктах окисления:

$$TOTOX = 2 \times PV + pAV \quad (1)$$

Математическое моделирование окислительных процессов. Для оценки влияния температуры на скорость окислительных процессов и определения энергии активации (E_a) использовали кинетическую модель первого порядка, описывающую изменение перекисного (PV) и анизидинового (pAV) чисел в процессе хранения. Константу скорости реакции (k) определяли по наклону прямолинейной зависимости $\ln PV_t$ и $\ln pAV_t$ от времени хранения при конкретной температуре:

$$\ln PV_t = \ln PV_0 + kt, \quad (2)$$

$$\ln pAV_t = \ln pAV_0 + kt, \quad (3)$$

где PV_t , pAV_t — значения перекисного и анизидинового числа в момент времени t ; PV_0 , pAV_0 — начальные значения показателей; k — константа скорости реакции; t — время хранения, сут.

Для описания температурной зависимости скорости окислительных процессов применяли уравнение Аррениуса:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}, \quad (4)$$

где k — константа скорости реакции; A — предэкспоненциальный фактор; E_a — энергия активации, Дж/моль; R — универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/К·моль), T — абсолютная температура, К.

Для прогнозирования окислительной способности по модели TOTOX из уравнений 1, 2, 3 имеем:

$$TOTOX_t = 2 \times PV_0 \times e^{k_{PV} \cdot t} + pAV_0 \times e^{k_{pAV} \cdot t} \quad (5)$$

Уравнение (5) решали численным методом Ньютона-Рафсона с помощью R-пакета «rootSolve» [13]. Тогда окислительная стабильность по времени определяется как отношение TOTOX опытного образца к контролю, %.

Статистическую обработку экспериментальных данных, численные решения, регрессионный анализ, а также построение графиков выполняли с использованием программной среды RStudio (версия R 4.11.0). Для визуализации данных применяли пакет ggplot2.



Источник изображения: freepik.com

Все измерения проводили в четырехкратной повторности, результаты представляли в виде средних значений с указанием стандартных отклонений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Биологически активные соединения в экстракте шалфея.

Результаты анализа фитохимического состава экстракта шалфея лекарственного показали, что общее содержание полифенолов составило $62,31 \pm 0,42$ мг ГАЭ/г сухого вещества, а общее содержание флавоноидов – $29,76 \pm 0,58$ мг КАТЭ/г сухого вещества. Полифенольные соединения, включая фенольные кислоты и флавоноиды, известны своей выраженной антиоксидантной активностью. Их механизм действия заключается в способности нейтрализовать свободные радикалы, подавляя цепные реакции перекисного окисления липидов, а также хелатировать ионы металлов, инициирующих окислительные процессы.

На основании анализа литературных данных, в частности результатов работы Basheer и Muthusamy, Y. Abid и др., показавших значимое повышение окислительной стабильности сливочного масла со схожими по составу растительными экстрактами, была выбрана дозировка экстракта шалфея, обеспечивающая содержание полифенолов в готовом продукте на уровне 20 мг ГАЭ/100 г масла [7, 14]. Выбранная концентрация также подтвердила свою приемлемость по результатам предварительной органолептической оценки, так как более высокие дозировки вызывали выраженный травянистый привкус, нежелательный для потребителей.

Исследования окислительной стабильности.

Кислотное число определяли на протяжении всего срока хранения с целью оценки гидролитической порчи сливочного масла, содержащего экстракт шалфея, а также контрольных образцов. Динамика изменения кислотного числа представлена на рисунке 1.

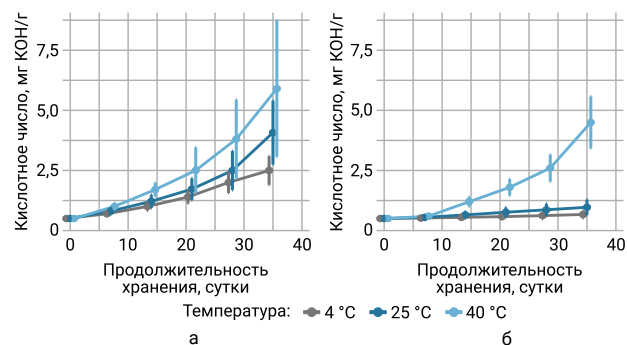


Рисунок 1. Динамика изменения кислотного числа:

а) контроль; б) эксперимент

В целом наблюдалось постепенное увеличение кислотного числа по мере увеличения срока хранения, что соответствует типичной тенденции накопления свободных жирных кислот вследствие гидролиза триглицеридов. Как и ожидалось, скорость роста кислотного числа зависела от температуры хранения: при 4 °C данный показатель возрастал медленно и статистически значимых отличий (дисперсионный анализ с пост-хок анализом Тьюки, $p < 0,05$) во времени внутри образцов не наблюдалась, в то время как при 15 °C и особенно при 25 °C фиксировалось более выраженное увеличение кислотного числа.

В контрольных образцах рост кислотного числа был наиболее интенсивным, что свидетельствует о более активных гидролитических процессах. В образцах с экстрактом шалфея наблюдалось достоверно более медленное накопление свободных жирных кислот на всех этапах хранения ($p < 0,05$). Это позволяет предположить, что биологически активные компоненты шалфея, помимо антиоксидантного эффекта, могли оказывать некоторое ингибирующее влияние на ферментативные процессы или развитие микроорганизмов, вызывающих гидролитическую порчу.

Перекисное число отражает содержание первичных продуктов окисления липидов – гидроперекисей, которые являются промежуточными соединениями в процессе автоокисления жиров.

Во всех температурных режимах наблюдался закономерный рост перекисного числа по мере увеличения срока хранения, что указывает на активное накопление гидроперекисей. При этом скорость увеличения показателя значительно варьировала в зависимости от температуры (рис. 2).

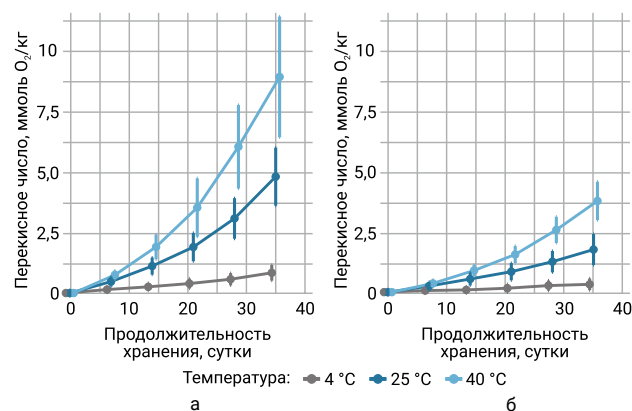


Рисунок 2. Динамика изменения перекисного числа:

а) контроль; б) эксперимент

Наиболее медленный рост перекисного числа отмечен при хранении при 4° С: в контрольной группе оно увеличилось с 1,20 до 2,05 ммоль O₂/кг, тогда как в экспериментальной группе с экстрактом шалфея – лишь с 1,21 до 1,53 ммоль O₂/кг ($p < 0,05$).

При температуре 25 °С окислительные процессы протекали активнее. В контрольной группе перекисное число увеличилось с 1,20 до 6,08 ммоль O₂/кг, тогда как в образцах с экстрактом шалфея этот показатель вырос только до 2,99 ммоль O₂/кг (статистически достоверное отличие на 14 суток). Наиболее интенсивное накопление гидроперекисей зафиксировано при 40 °С, где в контрольной группе перекисное число достигло 10,3 ммоль O₂/кг, тогда как в экспериментальной группе – лишь 5,02 ммоль O₂/кг. Таким образом, введение экстракта шалфея достоверно замедляло образование гидроперекисей во всех температурных режимах, что подтверждает его выраженные антиоксидантные свойства. Особенно заметное торможение процесса накопления первичных продуктов окисления отмечено при повышенных температурах хранения (25 и 40 °С), где разница между контрольной и экспериментальной группами была максимальной. Подобная тенденция соответствует данным Basheer и Muthusamy (2022), а также ряду других исследований, демонстрирующих снижение интенсивности начальных стадий окисления жиров под воздействием растительных экстрактов, содержащих полифенолы [6, 7, 14].

Изменения анизидинового числа (pAV) в процессе хранения демонстрировали те же закономерности, что и для перекисного числа: во всех температурных режимах наблюдался рост анизидинового числа с увеличением срока хранения, причем повышение температуры усиливало интенсивность накопления вторичных продуктов окисления. Добавление экстракта шалфея достоверно замедляло рост показателя по сравнению с контрольными образцами, особенно при температурах 25 и 40 °С. Это свидетельствует о торможении экстрактом не только начальных стадий окисления, но и последующего распада гидроперекисей с образованием альдегидов, что подтверждает его антиоксидантное действие (рис. 3).

Моделирование окислительной порчи. В исследованиях по изучению окислительной стабильности сливочного масла и других молочных продуктов кинетика накопления первичных и вторичных продуктов окисления чаще всего описывается моделью реакции первого порядка. Это объясняется тем, что процессы накопления гидроперекисей и карбонильных

соединений в жиросодержащих системах во многом зависят от концентрации исходных триглицеридов и образующихся промежуточных продуктов окисления, что соответствует модели первого порядка.

Модель первого порядка была применена, например, в работе Basheer & Muthusamy [7]. Аналогичный подход использовали Darmawan и др. при анализе окисления липидов *Shorea stenoptera* [15]. В исследовании Park и др. установлено, что кинетика перекисного и анизидинового чисел в молочных жирных продуктах, включая масло, наиболее точно описывается кинетикой первого порядка [16].

Для каждой реакции (PV и pAV) вычисляли константу скорости k , которая в нашей модели представляет из себя коэффициент наклона прямой. Затем коэффициент k логарифмировали (см. табл.).

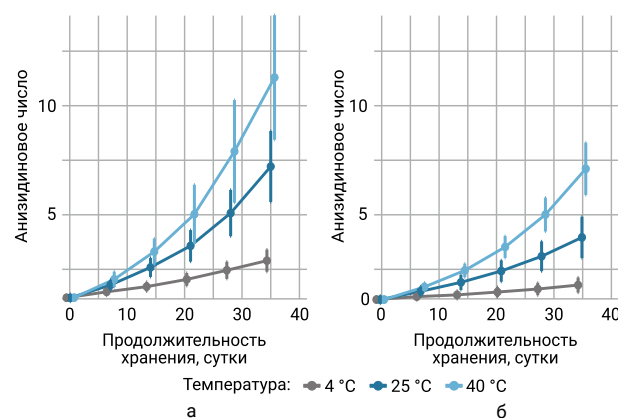


Рисунок 3. Динамика изменения анизидинового числа:
а) контроль; б) эксперимент

Таблица. Параметры кинетики окисления

Образец (PV)	Температура, °С	k	$1/T$	$\ln k$
Контрольный	4	0,014643552	0,250	-4,223755
Контрольный	25	0,045851007	0,040	-3,082358
Контрольный	40	0,061573528	0,025	-2,787523
Опытный	4	0,006977099	0,250	-4,965122
Опытный	25	0,025720223	0,040	-3,660478
Опытный	40	0,041098527	0,025	-3,191783
Образец (pAV)	Температура, °С	k	$1/T$	$\ln k$
Контрольный	4	0,02190674	0,250	-3,820961
Контрольный	25	0,04633668	0,040	-3,071821
Контрольный	40	0,05921523	0,025	-2,826577
Опытный	4	0,01019106	0,250	-4,586244
Опытный	25	0,03028925	0,040	-3,496962
Опытный	40	0,04594848	0,025	-3,080234

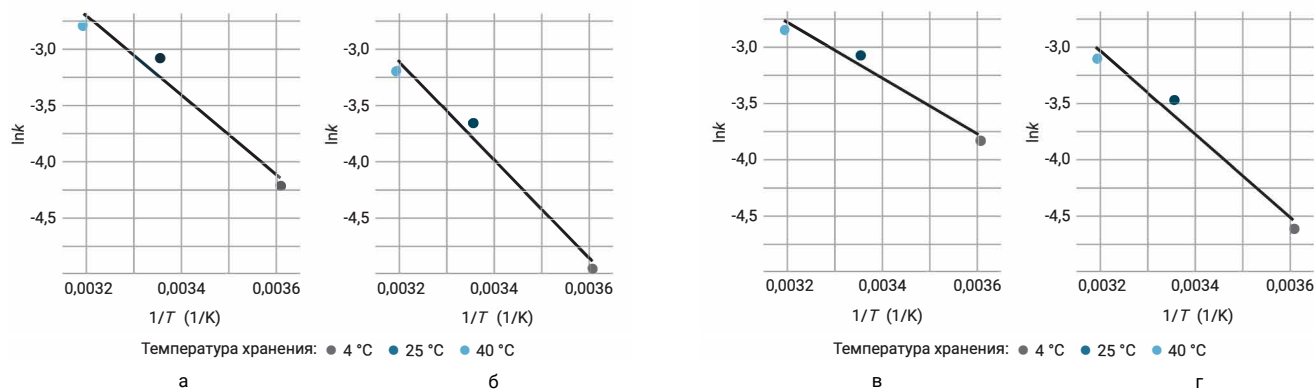


Рисунок 4. Константы скорости ($\ln k$) во время хранения масла при разных температурах: а) для перекисных реакций (контроль); б) для перекисных реакций (эксперимент); в) для альдегидных реакций (контроль); г) для альдегидных реакций (эксперимент)

Тогда из уравнения (5):

$$E_a = -\text{slope} \times R \quad (6)$$

где slope – коэффициент наклона линейной функции; $R = 8,314$ Дж/К·моль – универсальная газовая постоянная.

Тогда энергия активации для перекисной реакции составляет 29,5 кДж/моль для контроля и 36,2 кДж/моль для образца с экстрактом шалфея. Коэффициент детерминации (R^2) 0,82 и поправленный коэффициент детерминации ($\text{adj } R^2$) 0,78. Модель адекватна согласно тесту Фишера ($F = 18,27$; $df = \{1;4\}$; $p < 0,05$). Энергия активации для альдегидной реакции составляет 20,3 кДж/моль для контроля и 30,6 кДж/моль для образца с экстрактом шалфея. Модель имеет хорошую предсказательную силу: $R^2 = 0,79$; $R^2_{\text{adj}} = 0,73$ и адекватна ($F = 14,77$; $df = \{1;4\}$; $p < 0,05$) (рис. 4)

Для расчета окислительной стабильности масла с экстрактом шалфея в сравнении с контролем по модели TOTOTX_i необходимо уставить референсное значение показателя, отображающего недопустимый уровень перекисной порчи. Разные исследователи устанавливали разные пороги [17–19]. Так же и разные потребители расставляют разные границы «прогорклости» для разных продуктов [20]. При расчете модели TOTOTX_i (4) мы отталкивались от наиболее распространенных референсов для высокожирных пищевых систем: 15–26.

Результаты оценки окислительной стабильности образцов с помощью модели TOTOTX_i показали, что опытный образец оказался: на 62–68 % стабильнее

контроля при 4 °C (77–106 и 125–178 суток для контроля и опыта соответственно); на 38–42 % – при 25 °C (29–41 и 40–58 для контроля и опыта соответственно).

ВЫВОДЫ

Добавление экстракта шалфея лекарственного в сливочное масло в концентрации, обеспечивающей содержание фенольных соединений 20 мг ГАЭ на 100 г продукта, достоверно замедляло окислительную порчу при хранении во всех температурных режимах (4, 25 и 40 °C). Установлено, что в образцах с экстрактом по сравнению с контрольной группой накопление как первичных (PV), так и вторичных (pAV) продуктов окисления происходило значительно медленнее. Также биологически активные компоненты шалфея, помимо антиоксидантного эффекта, могли оказывать некоторое ингибирующее влияние на ферментативные процессы или развитие микроорганизмов, вызывающих гидролитическую порчу, так как добавление экстракта статистически значимо снижало кислотное число.

Для описания кинетики процессов окисления построены модели псевдопервого порядка, хорошо описывающие динамику изменения PV и pAV. Расчет уравнений Аррениуса позволил определить энергии активации окислительных процессов (E_a), которые оказались выше в образцах с экстрактом шалфея, что подтверждает замедление реакций окисления в присутствии антиоксиданта.

Построенные модели использованы для прогнозирования окислительной стабильности сливочного масла до достижения критических уровней TOTOX, которые, по литературным данным, соответствуют началу выраженной порчи жиров. ■

EFFECT OF SAGE EXTRACT ON OXIDATIVE STABILITY OF BUTTER

Alexey A. Golubev, Nina I. Dunchenko, Valentina S. Yankovskaya

Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow

ORIGINAL ARTICLE

Sage extract (*Salvia officinalis* L.) may improve the oxidative stability of butter. This research identified this effect at different storage temperatures (4, 25, and 40°C), providing a mathematical model of oxidative kinetics. The sage extract was added at a concentration of 20 mg polyphenol per 100 g butter. It inhibited the increase of peroxide, anisidine, and acid values during storage through all temperatures, which denotes a statistically significant antioxidant effect. The pseudo-first-order models and Arrhenius equations based on the accumulation of primary and secondary oxidation products made it possible to calculate the energy needed to trigger the primary and secondary oxidation reactions. The mathematical models could predict the oxidative stability of butter up to the total oxidation index. In this study, the antioxidant properties of sage prevented the peroxidation of dairy lipids, especially at elevated temperatures. The sage extract demonstrated good prospects as a natural antioxidant that improves butter stability.

Keywords: butter, sage (*Salvia officinalis* L.), oxidative stability, phenolic compounds, mathematical modelling, activation energy

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bao, Y. Mechanisms of lipid oxidation in water-in-oil emulsions and oxidomics-guided discovery of targeted protective approaches / Y. Bao, M. Pignitter // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2023. Vol. 22(4). P. 2678–2705. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13158>
2. Choe, E. Roles and action mechanisms of herbs added to the emulsion on its lipid oxidation / E. Choe // Food Science and Biotechnology. 2020. Vol. 29(9). P. 1165–1179. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00800-z>
3. Ullah, H. Natural Polyphenols for the Preservation of Meat and Dairy Products / H. Ullah, <https://doi.org/10.3390/molecules27061906>
4. Fan, X. Markers and Mechanisms of Deterioration Reactions in Dairy Products / X. Fan, C. Wang, M. Cheng [et al.] // Food Engineering Reviews. 2023. Vol. 15(2). P. 230–241. <https://doi.org/10.1007/s12393-023-09331-9>
5. Choe, E. Mechanisms and factors for edible oil oxidation / E. Choe, D. B. Min // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2006. Vol. 5(4). P. 169–186. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x>
6. Нилова, Л. П. Растительные ингредиенты в стабилизации окислительных процессов сливочного масла при хранении / Л. П. Нилова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2019. № 4. С. 117–123. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2019-12-4-117-123>; <https://www.elibrary.ru/ztripb>
7. Basheer, V. A. Mathematical modeling and kinetic behavior of Indian Umblachery cow butter and its nutritional degradation analysis under modified atmospheric packaging technique / V. A. Basheer, S. Muthusamy // Journal of Food Process Engineering. 2022. Vol. 45(8). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14042>
8. Pandey, P. Evaluation of polyphenols enriched dairy products developed by incorporating black carrot (*Daucus carota* L.) concentrate / P. Pandey [et al.] // Heliyon. 2021. Vol. 7(5). e06880. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06880>
9. Irakli, M. Modeling and Optimization of Phenolic Compounds from Sage (*Salvia fruticosa* L.) Post-Distillation Residues: Ultrasound- versus Microwave-Assisted Extraction / M. Irakli [et al.] // Antioxidants. 2023. Vol. 12(3). P. 549. <https://doi.org/10.3390/antiox12030549>
10. Nair, S. S. Formulation of Millet Milk and Herb Extract Enriched Yogurt and to Assess Its Nutritional Characteristics / S. S. Nair, N. Peekhan // International Journal of Life Science and Pharma Research. 2020. Vol. 13(1). L151–L163. <https://doi.org/10.22376/ijlpr.2023.13.1.L151-163>
11. Pełal, A. Evaluation of Aluminium Complexation Reaction for Flavonoid Content Assay / A. Pełal, K. Pyrzynska // Food Analytical Methods. 2014. Vol. 7(9). P. 1776–1782. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9814-x>
12. Тутельян, В. А. Методы анализа минорных биологически активных веществ пищи / В. А. Тутельян, К. И. Эллер, Т. В. Аристархова [и др.]. – М.: ООО "Издательство "Династия", 2010. – 180 с. <https://www.elibrary.ru/qnigub>
13. Soetaert, K. A practical guide to ecological modelling: Using R as a simulation platform / ed. by K. A. Soetaert, P. M. J. Herman. – Dordrecht: Springer Science+Business Media B. V., 2009. – 372 p.
14. Abid, Y. Storage stability of traditional Tunisian butter enriched with antioxidant extract from tomato processing by-products / Y. Abid [et al.] // Food Chemistry. 2017. Vol. 233(15). P. 476–482. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.125>
15. Darmawan, M. A. Shelf life of indigenous tengkawang butter: Storage kinetic and effect of antioxidant to oxidation stability index / M. A. Darmawan, [et al.] // Heliyon. 2023. Vol. 9(5). e15643. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15643>
16. Park, J. M. Determination of shelf life for butter and cheese products in actual and accelerated conditions / J. M. Park [et al.] // Korean Society for Food Science of Animal Resources. 2014. Vol. 34(2). P. 245–51. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2014.34.2.245>
17. Tavakoli, H. Postmarketing surveillance of the oxidative stability for cooking oils, frying oils, and vanaspati supplied in the retail market / H. Tavakoli // Food Science & Nutrition. 2019. Vol. 7(4). P. 1455–1465. <https://doi.org/10.1002/fsn3.982>
18. Matthäus, B. Quality Parameters for Cold Pressed Edible Argan Oils / B. Matthäus // Natural product communications. 2013. Vol. 8(1). P. 37–41.
19. Hands, J. M. A Multi-Year Rancidity Analysis of 72 Marine and Microalgal Oil Omega-3 Supplements / J. M. Hands [et al.] // Journal of Dietary Supplements. 2024. Vol. 21(2). P. 195–206. <https://doi.org/10.1080/19390211.2023.2252064>
20. Mildner-Szkudlarz, S. A comparison of human and electronic nose responses to flavour of various food products of different degree of lipids oxidation / S. Mildner-Szkudlarz [et al.] // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2007. Vol. 57(2). P. 195–202.