

ПИЩЕВЫЕ ПОТЕРИ И РОЛЬ НАТУРАЛЬНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В РЕШЕНИИ ЭТОЙ ПРОБЛЕМЫ: АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

Алексей Алексеевич Голубев, аспирант
E-mail: altgolubec@gmail.com

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

Светлана Вячеславовна Купцова, канд. техн. наук, доцент

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

В статье дан анализ проблемы пищевых потерь на глобальном уровне. Выявлена связь между уровнем экономического благополучия и потерями молочных продуктов. Исследуется влияние различных аспектов на хранимоспособность молочных продуктов в странах с высоким уровнем доходов, в частности, подчеркивается разница в потреблении молочных продуктов с высоким содержанием жира. Для улучшения хранимоспособности таких продуктов рассматривается применение натуральных антиоксидантов.

Ключевые слова: молочные продукты, хранение, пищевые потери, окислительная порча липидов, антиоксиданты, пищевые добавки

Для цитирования: Пищевые потери и роль натуральных антиоксидантов в решении этой проблемы: анализ и перспективы / А. А. Голубев, Н. И. Дунченко, С. В. Купцова // Молочная промышленность. 2024. № 1. С. 40–45. <https://www.doi.org/10.21603/1019-8946-2024-1-9>

ВВЕДЕНИЕ

Порча пищевых продуктов представляет собой один из основных вызовов, стоящих перед современной пищевой индустрией. Организация Объединенных Наций выдвинула амбициозную задачу уменьшения объема пищевых отходов на душу населения наполовину до 2030 года, что составляет ключевой компонент стратегии устойчивого развития [1].

Анализ продовольственных потерь. Продовольственные потери повсеместно оцениваются различными исследовательскими группами. В странах северной Европы потери продуктов питания, потребляемых домохозяйствами, составляют в среднем 20–30 % от общего объема [2]. В Швейцарии около трети продуктов, произведенных в калорийном эквиваленте, превращается в отходы, и наибольший вклад в это вносят домашние хозяйства, 31 % доступных продуктов питания в США остаются непотребленными из-за потерь на уровне розничной торговли и у потребителей [3].

Из национальных и региональных исследований формируются глобальные обзоры и базы данных по пище-

вым потерям с агрегированием различных экологических, диетических и экономических показателей [4–6].

В обзоре 2020 года Canxi Chen и соавторы уделили внимание уникальным особенностям пищевых потерь с учетом региональных и экономических контекстов. Исследователи провели экстраполяцию оценок пищевых потерь, представленных Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО), с использованием базы данных GENUS [7]. Страны, обладающие высоким уровнем дохода, демонстрируют значительно более высокий объем потерь продуктов питания в сравнении с странами, находящимися на низком уровне дохода, превышая показатели последних в шесть раз. Структура пищевых потерь в странах с разными уровнями дохода также отличается.

В странах с высоким уровнем дохода выявляется более высокий уровень потерь в категории молочных продуктов, в сравнении со странами, обладающими более низкими доходами, даже при учете различий в потреблении молочной продукции (см табл.).

Таблица

Потери молочных продуктов в разных странах

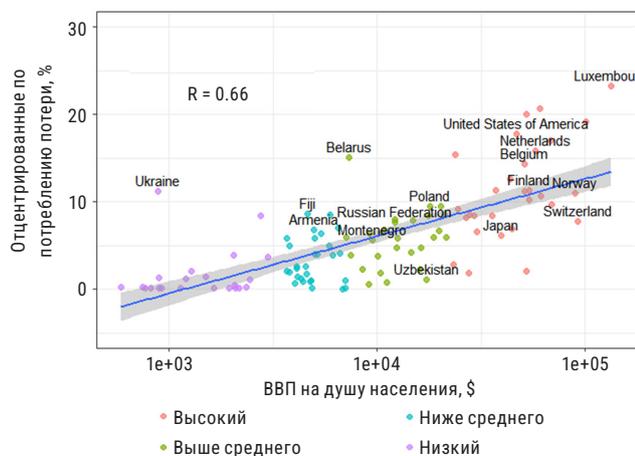
Уровень среднего дохода граждан страны	Высокий доход	Доход выше среднего	Доход ниже среднего	Низкий уровень дохода
Доля молочных продуктов от общей массы продовольственных потерь, %	17	4	5	3



Источник изображения: unsplash.com

Для оценки данной взаимосвязи был проведен корреляционный анализ (рис. 1). Данные по пищевым потерям взяты из обзора Canxi Chen и соавторов, данные по потреблению из открытой базы данных продуктовых балансов ФАО, ВВП на душу населения по данным всемирного банка [4, 8, 9].

Пищевые потери молочных продуктов были отцентрованы по потреблению молочных продуктов на душу населения согласно данным ФАО по каждой стране в отдельности.



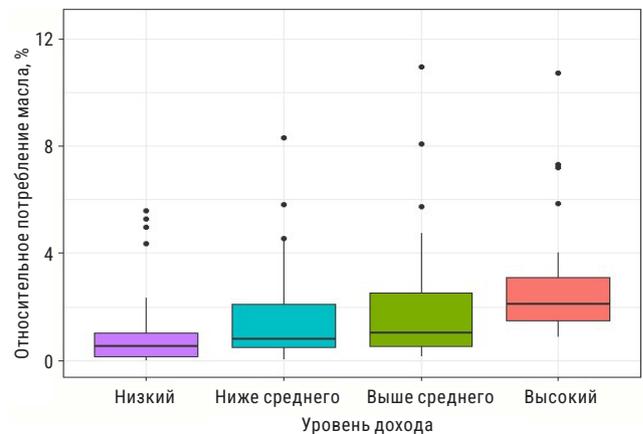
Рисунки 1. Взаимосвязь продовольственных потерь и уровня дохода

Таким образом, установлена положительная взаимосвязь ($R = 0,66$) между экономическим благополучием и относительным количеством потерь молочной продукции на душу населения. Анализ причин этой взаимосвязи является важным шагом к снижению пищевых потерь в молочной индустрии.

Объяснение данной связи может быть связано с логистическими, экономическими и технологическими факторами. Например, для стран с высоким уровнем доходов характерно повышенное потребление высокожирных молочных продуктов: масло, сыр, сливки. Гипотезу проверяли, используя продуктовые балансы ФАО [29].

Для оценки статистически значимых различий между группами был использован тест Краскала-Уоллиса. Различия в потреблении высокожирных молочных продуктов статистически значимы ($N = 25,956$; $p < 0.01$). Таким образом, для развитых стран более характерны риски при производстве и дальнейшем обращении молочной продукции, связанные с химической трансформацией липидов молока, например, перекисным окислением липидов.

Другими важными факторами, влияющими на хранимоспособность в экономически успешных странах, может являться высокий спрос потребителей на «натуральные», не содержащие искусственных добавок молочные продукты и более строгие законы о пищевой безопасности [10, 11]. Так, в ряде стран (в том числе и РФ) запрещено применять синтетические антиоксиданты: бутилгидрокситолуол (БНТ) и бутилгидроксианизол (БНА) для снижения рисков порчи молочных жиров, что побуждает производителей применять антиоксиданты натурального происхождения [12].



Рисунки 2. Потребление высокожирных молочных продуктов в зависимости от экономического благополучия стран



Источник изображения: unsplash.com

Использование антиоксидантов природного происхождения.

Научные исследования, посвященные использованию натуральных антиоксидантов в молочных продуктах, имеют долгую историю и продолжают привлекать внимание ученых в современной пищевой науке [13–17]. Из всего объема литературы в этой области стоит выделить ряд важных аспектов, которые заслуживают ближайшего рассмотрения.

Большинство исследований фокусируется на молочных продуктах с низким содержанием жира. Это может быть связано с более широкой потребительской ориентацией на продукты сниженной калорийности и сниженным содержанием животных жиров. Исследований, посвященных высокожирным молочным продуктам, оказывается недостаточно, и даже те, которые существуют, редко учитывают уникальные химические и физические свойства, которые могут сильно отличаться от свойств продуктов с низким содержанием жира.

Окисление липидов в пищевых системах происходит в основном на границе раздела вода-масло и определяется критической концентрацией первичных и вторичных продуктов окисления, кислорода и ионов переходных металлов [18–20]. Учитывая вышеописанное, при использовании антиоксидантов необходимо учитывать их гидрофильность или гидрофобность.

Поэтому использование хорошо зарекомендовавших себя в качестве антиоксидантов соединений в низкожировых пищевых системах (молочные напитки, йогурты и т.п.) может быть нерационально в таких продуктах как сливочное масло [14, 21].

Таким образом, исследование антиоксидантов природного происхождения с целью повышения хранимоспособности молочных продуктов с высоким содержанием жира является актуальной проблемой для современной индустрии. В этом контексте стоит отметить прямые исследования влияния биоактивных веществ с антиоксидантными свойствами на качественные характеристики таких высокожирных молочных продуктов как сливочное масло.

Сухие растительные порошки укропа, чеснока, базилика, майорана, орегано, мяты, розмарина, чабера, шалфея и тимьяна были использованы для снижения окислительных процессов в исследовании Ниловой Л. П. Исследуемые образцы масла показывали статистически значимые отличия

от контроля по перекисному числу уже на 10 суток эксперимента, по тиобарбитуровому числу на 20 суток. В итоге образование первичных продуктов окисления в образцах, содержащих растительные компоненты уменьшилось в 1,5–2 раза, вторичных – в 1,3–1,7. Отмечено также снижение окисления витамина Е в два раза по сравнению с контролем [22]. Таким образом, в работе показана эффективность полифенолов, содержащихся в растительных порошках, в синергии с витамином Е, усиливших защитные свойства нативного антиоксиданта от повреждений свободными радикалами.

В исследовании Наумовой Н. Л. для увеличения срока хранения сливочного масла был использован мицелярный экстракт розмарина. Образец масла, содержащий 0,15 % экстракта и контроль хранили при 40 °С в течении 14 суток и сравнивали по перекисному, кислотному числу и КМАФАнМ. После половины установленного срока хранения значение перекисного числа в контроле оказалось в 1,5 раза выше, чем в опыте; значение кислотного числа в 1,2 раза выше. Антибактериальный эффект наблюдался на третьи сутки хранения [23].

Vidanagamage S. A. и соавторы добавляли экстракт корицы в сливочное масло. Массовая доля в 3 % водного экстракта корицы не ухудшала органолептические характеристики сливочного масла, при этом продлевала срок годности. Отмечено также противогрибковое воздействие, аналогичное воздействию 0,1 % содержанию сорбата калия [24]. Водный экстракт корицы в сливочном масле также исследовали Munasinghea M. A. J. P. и соавторы. В работе помимо экстракта корицы анализировали влияния экстракта имбиря и кардамона на содержание свободных жирных кислот, перекисного числа, липолитических бактерий, дрожжей и плесневых грибов. Исследователи также обнаружили статистически достоверный противогрибковый и антибактериальный эффект экстракта корицы в сравнении с остальными образцами и контролем. Наивысшая оценка органолептической приемлемости наблюдалась при минимальных концентрациях всех трех экстрактов, а статистически достоверное улучшение хранимостепособности достигается при добавлении 0,15 % экстракта корицы и 0,20 % экстракта имбиря [25].

Abid Y. и соавторы использовали сухой экстракт кожуры и семечек томата с высоким содержанием ликопина и фенольных веществ ($152 \pm 1,41$ мг эквивалента галловой кислоты/г) для увеличения срока годности традиционного тунисского сли-



Источник изображения: unplash.com

вочного масла. Добавление 400 мг/кг экстракта статистически достоверно снижало перекисное число в течении всего периода хранения (60 суток), при этом результат был эквивалентен добавлению 200 мг/кгВНТ. Более высокая концентрация экстракта ингибировала рост молочнокислых бактерий, необходимых для формирования надлежащих органолептических характеристик продукта [26].

В статье Mehdizadeh T. и соавторов оценивались антиоксидантные и антимикробные свойства экстракта из оболочек грецкого ореха (ЭОГО), добавленного в сливочное масло, произведенное по традиционной иранской технологии (кислосливочное масло с последующим топлением при 70 °С). ЭОГО был богат фенольными соединениями (368,86 мг ГКЭ/г) и имел умеренную антиоксидантную активность. В результате добавления ЭОГО наблюдались улучшения в стабильности масла к окислительным и микробным изменениям в течение 90 дней хранения. Образцы с 0,5 % ЭОГО проявляли наилучшую антимикробную и антиоксидантную активность, однако имели неудовлетворительные вкусовые характеристики. Образцы с содержанием ЭОГО 0,05 % имели самые близкие к контролю органолептические оценки, но значительно уступали образцам с более высоким содержанием остальным качественным характеристикам по итогам хранения (содержание свободных жирных кислот, перекисное число, кислотное число) [27].



Источник изображения: unsplash.com

В исследовании Basheer V. A. и соавтора сливочное масло обогащали экстрактом оболочек семян (ЭОС) голубиногороха (*Cajanus cajan*), содержащего фенольные соединения (136,5 мг ГКЭ/г) и флавоноиды (68 мг эквивалента кверцетина/г), оценивали окислительную стабильность в течение 6 месяцев хранения при разных температурах и в условиях модифицированной газовой среды. Для обобщенной оценки влияния факторов на скорость окисления липидов исследователи использовали кинетическую модель Аррениуса (зависимость скорости химической реакции от температуры), с помощью которой рассчитывали изменение энергии активации сливочного масла. ЭОС значительно снизил образование продуктов окисления, потеря полифенолов к концу шестого месяца хранения составила 21–36 % при 4 °С и 31–55 % при 25 °С с и без модифицированной атмосферной упаковки соответственно [28].

Mikdame H и соавторы использовали отходы производства оливкового масла (вода, использованная в процессе извлечения масла из оливок, и жмых) как источник полифенолов. Включение экстракта жмыха или концентрированной технической воды снижало кислотное и перекисное число масла, снижало микробиологическую обсемененность относительно контроля после 60 суток хранения при температуре 25 °С [29].

Выводы

Продовольственные потери – одна из важнейших проблем, стоящих сегодня перед пищевой индустрией в современном мире. Исследователи отмечают, что основную массу потерь генерируют развитые страны. Богатые страны с поправкой на потребление значительно превосходят остальные в продовольственных потерях молочных продуктов. Одним из главных факторов, обуславливающих такую разницу, может быть структура потребления с более высокой долей высокожирных молочных продуктов. Характерные риски, влияющие на хранимоспособность таких продуктов, главным образом связаны с изменениями при производстве и хранении липидов молока.

Современные исследования направлены на поиск натуральных антиоксидантов, которые не влияют на вкус или себестоимость продуктов. Множество исследований подтверждают, что антиоксиданты на растительной основе эффективно уменьшают окисление жиров и замедляют порчу молочных продуктов, повышая их срок хранения. Однако, на сегодняшний день мало работ освещает использование антиоксидантов природного происхождения в составе высокожирных пищевых систем на молочной основе. Поэтому для полного понимания механизмов действия антиоксидантов в таких пищевых матрицах и разработки эффективных стратегий повышения хранимоспособности, требуются дальнейшие исследования. ■

NATURAL ANTIOXIDANTS AND FOOD LOSSES: ANALYSIS AND PROSPECTS

Alexey A. Golubev, Nina I. Dunchenko, Svetlana V. Kuptsova

Russian State Agrarian University, K. A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow

REVIEW ARTICLE

The article provides an analysis of food losses at the global level. The authors linked the level of economic well-being to dairy losses. They examined the effect of various aspects on the shelf-life of dairy products and highlighted the differences in the consumption of high-fat dairy products in high-income countries. Natural antioxidants could provide an effective solution to the dairy spoilage problem.

Keywords: dairy products, storage, food losses, oxidative spoilage of lipids, antioxidants, food additives

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Huck, W.** Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. [Электронный ресурс]. URL: <https://sdgs.un.org/2030agenda> (дата обращения: 01.12.2023)
2. **Gjerris, M.** Household food waste in Nordic countries: Estimations and ethical implications / M. Gjerris, S. Gaiani // *Etikk I Praksis - Nordic Journal of Applied Ethic.* 2013. Vol. 7, № 1. P. 6–23. <https://doi.org/10.5324/eip.v7i1.1786>
3. **Buzby, J. C.** The Estimated Amount, Value, and Calories of Postharvest Food Losses at the Retail and Consumer Levels in the United States / J. C. Buzby, H. F. Wells, J. Hyman. – Nova Science Publishers, Inc., 2014. – P. 1–42.
4. **Chen, C.** Nutritional and environmental losses embedded in global food waste / C. Chen A. Chaudhary, A. Mathys // *Resources, Conservation and Recycling.* 2020. Vol. 160. P. 104912. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104912>
5. **Xue, L.** Introduction to global food losses and food waste / L. Xue, G. Liu // *Saving Food.* 2019. P. 1–31. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815357-4.00001-8>
6. **Xue, L.** Missing Food, Missing Data? A Critical Review of Global Food Losses and Food Waste Data / L. Xue [et al.] // *Environmental Science and Technology/* 2017. Vol. 51, № 12. P. 6618–6633. <https://www.doi.org/10.1021/acs.est.7b00401>
7. **Smith, M. R.** Global expanded nutrient supply (GENuS) model: A new method for estimating the global dietary supply of nutrients / M. R. Smith. [et al.] // *PLoS One.* 2016. Vol. 11, № 1. <https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0146976>
8. **FAOSTAT** [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS> (Дата обращения: 01.12.2023).
9. **GDP (current US\$)** [Электронный ресурс]. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD> (Дата обращения: 01.12.2023).
10. **Asioli, D.** Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications / D. Asioli D [et al.] // *Food Research International.* 2017. Vol. 99. P. 58–71. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.022>
11. **Chen, A.** The clean label trend: An ineffective heuristic that diserves both consumers and the food industry? / A. Chen [et al.] // *Comprehensive reviews in food science and food safety.* 2022. Vol. 21, № 6. P. 4921–4938. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13031>
12. **Технический регламент** Таможенного союза ТР ТС 021/2011 “О безопасности пищевой продукции” УТВЕРЖДЕН Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880
13. **Ullah, H.** Natural Polyphenols for the Preservation of Meat and Dairy Products / Ullah H. [et al.] // *Molecules.* 2022. Vol. 27, № 6. P. 1906. <https://doi.org/10.3390/molecules27061906>
14. **Cardoso-Ugarte, G. A.** Essential Oils from Herbs and Spices as Natural Antioxidants: Diversity of Promising Food Applications in the past Decade / G. A. Cardoso-Ugarte, M. E. Sosa-Morales // *Taylor & Francis.* 2021. Vol. 38, № S1. P. 403–433. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1872084>
15. **Mohammed, N. K.** Ice cream as functional food: A review of health-promoting ingredients in the frozen dairy products / N. K. Mohammed [et al.] // *Food Process Engineering.* 2022. Vol. 45, № 12. P. e14171. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14171>
16. **Nikoo, M.** Natural Antioxidants and Flavorings for Clean Label Foods / M. Nikoo, H. Ahmadi Gavlighi // *Age Clean Label Foods.* 2022. P. 73–102. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96698-0_3
17. **Giri N. A.** Exploring the Potential of Pomegranate Peel Extract as a Natural Food Additive: A Review / N. A. Giri [et al.] // *Current nutrition reports.* 2023. Vol. 12, № 2. P. 270–289. <https://doi.org/10.1007/s13668-023-00466-z>
18. **Waraho, T.** Mechanisms of lipid oxidation in food dispersions / T. Waraho, D. J. McClements, E. A. Decker // *Trends in Food Science & Technology.* 2011. Vol. 22, № 1. P. 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.11.003>
19. **Choe, E.** Roles and action mechanisms of herbs added to the emulsion on its lipid oxidation / E. Choe // *Food Science Biotechnol.* 2020. Vol. 29, № 9. P. 1165–1179. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00800-z>
20. **Keramat, M.** Oxidative stability of Pickering emulsions / M. Keramat, N. Kheynoor, M. T. Golmakani // *Food chemistry.* 2022. Vol. 14. P. 100279. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100279>
21. **Sukhikh, S. A.** Functional dairy products enriched with plant ingredients / S. A. Sukhikh [et al.] // *Foods and Raw Materials.* 2019. Vol. 7, № 2. P. 428–438. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-428-438>
22. **Нилова, Л. П.** Растительные ингредиенты в стабилизации окислительных процессов сливочного масла при хранении // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств».* 2019. № 4. С. 117–123.
23. **Наумова, Н. Л.** Антиоксидантные свойства пищевой добавки NovaSOL Rosemary на примере сливочного масла // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета.* 2015. № 3 (125). С. 152–156.
24. **Vidanagamage, S. A.** Pathiraje P. M.H.D., Perera O. D.A. N. Effects of Cinnamon (Cinnamomum Verum) Extract on Functional Properties of Butter / S. A. Vidanagamage // *Procedia Food Science.* 2016. Vol. 6. P. 136–142.
25. **Munasinghe, M. A. J. P.** Impact of cardamom, cinnamon and ginger essences on keeping quality of butter / M. A. J. P. Munasinghe [et al.] // *Journal of Agriculture and Value Addition.* 2022. Vol. 5, № 1. P. 107. <https://doi.org/10.4038/java.v5i1.37>
26. **Abid, Y.** Storage stability of traditional Tunisian butter enriched with antioxidant extract from tomato processing by-product / Y. Abid [et al.] // *Food chemistry.* 2017. Vol. 233. P. 476–482. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.125>
27. **Mehdizadeh, T.** Effect of walnut kernel septum membranes hydroalcoholic extract on the shelf life of traditional butter / T. Mehdizadeh [et al.] // *Heliyon.* 2019. Vol. 5, № 3. P. e01296. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01296>
28. **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. P. e14042. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14042>
29. **Mikdame, H.** By-Products of Olive Oil in the Service of the Deficiency of Food Antioxidants: The Case of Butter / H. Mikdame H [et al.] // *Journal of Food Quality.* 2020. Vol. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6382942>