

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОГО ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ (НРР) В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Смольникова Ф.Х., канд. техн. наук, Асенова Б.К., канд. техн. наук, Окусханова Э.К., PhD, Кабденова А.Т., докторант группы ДПП-2501

НАО Шәкарім университет, Казахстан, Семей

Аннотация. В данной статье приведен обзор материала по применению высокого гидростатического давления в пищевой промышленности. В этой области постоянно ведутся исследования по улучшению качества пищевой продукции. В этой связи разрабатываются и изучаются новые технологии и практики. Исследовательская деятельность носит междисциплинарный характер, так как учитываются все изменения, происходящие в пищевых продуктах при данном методе обработки (химические, физические, микробиологические, ферментативные, микроструктурные).

Ключевые слова: высокое гидростатическое давление, методы обработки, сырье, пищевая безопасность, качество.

APPLICATION OF HIGH HYDROSTATIC PRESSURE (HHP) IN THE FOOD INDUSTRY

Smolnikova F.H., candidate of technical sciences, Asenova B.K., candidate of technical sciences, Okuskhanova E.K., PhD, Kabdenova A.T., doctoral student of the DPP-2501 group

Non-commercial Joint Stock Company Shakarim University, Kazakhstan, Semey

Abstract: This article provides an overview of the material on the use of high hydrostatic pressure in the food industry. In this area, research is constantly being conducted to improve the quality of food products. In this regard, new technologies and practices are being developed and studied. The research activity is interdisciplinary in nature, as it takes into account all the changes occurring in food products with this method of processing (chemical, physical, microbiological, enzymatic, microstructural).

Keywords: high hydrostatic pressure, processing methods, raw materials, food safety, quality.

За последние годы были разработаны высокоинтенсивные процессы и аппаратура, основанные на электрофизических методах (НРР технологии, электротермия, включая токи ВЧ и СВЧ, инфракрасный нагрев, электростатическое поле, ультразвук, импульсная техника и др.), использование которых в пищевой промышленности позволяет по-новому построить технологический процесс, значительно увеличить производительность труда, повысить выход готового продукта и улучшить его качество.

Перед пищевой отраслью стоят проблемы переработки сырья прогрессивными методами, способствующие удлинению сроков хранения продукта, снижения бактериальной обсемененности сырья. Применение электрофизиче-

ских методов обработки позволяет решить проблемы и интенсифицировать существующие технологии.

В данной статье представлены исследования, посвященные применению высокого гидростатического давления (ННР технологии), предназначенной для обработки растительного и животного сырья. Ниже приводится краткая информация о новых технологиях, которые использовались ранее.

Ежегодно потребности современного человека возрастают, они направлены на здоровый образ жизни, сохранения здоровья, в связи, с чем пищевые предприятия пересматривают существующие технологии, используют новые альтернативные, которые позволяют сохранить основные технологические свойства продукта, качественные пищевые органолептические показатели готового продукта (Martínez-Monteagudo, S.I. и др.) [1].

Процесс высокого гидростатического давления (ННР) используется в пищевой промышленности, как нетермический процесс. Он может применяться для инактивации микроорганизмов, при этом снижается количество химических реакций в пищевых продуктах. При этом способе обработке применяется режим - 100 МПа (986,9 атм/1019,7 кгс/см²) и более.

С помощью ННР технологий в 1990 году были выпущены первые коммерческие продукты – фруктовые джемы, варенные колбасы и ветчины, соевый соус, различные фруктовые напитки и соки с повышенным сроком хранения (Kazutaka Yamamoto, 2017) [2].

По мнению Hsiao-Wen Huang при использовании метода ННР снижается потребление энергии, затраты на нагрев отсутствуют, так как данный процесс осуществляется при комнатной температуре. Снижается вторичное обсеменение пищевых продуктов, так как они находятся в упакованном виде перед обработкой (Hsiao-Wen Huang и др., 2017) [3].

В дальнейшем процессы ННР технологии были оптимизированы, получены новые данные по методике применения процессов изучены преимущества данной технологии перед другими (Urrutia-Benet и др., 2004) [4].

В большинстве своем применение ННР технологии в Японии на ранних этапах было связано с пастеризацией и проведению исследований по разработке методов по уничтожению вегетативной формы микроорганизмов. Применение ННР технологий позволило заменить использование пищевых добавок, которые могли привести к снижению pH, повышению вязкости продукта и ухудшению качества изделий (Kazutaka Yamamoto, 2017) [5].

По мнению Porto-Fett, 2010, технология ННР позволила инактивировать такие бактерии, как сальмонелла, кишечная палочка и листерия, и является одним из надежных методов для предотвращения заболеваний, вызываемых данными микроорганизмами, а также способностью сохранять качественные характеристики мясных изделий. В производстве мясных изделий ННР технология не позволяет бороться со споровыми формами микроорганизмов [6].

С помощью новых технологий появилась возможность выпускать безопасные, питательные, готовые к употреблению пищевые продукты, которые соответствуют принципам рационального, здорового питания (Volumar T, 2021) [7].

Продукты, полученные с помощью НРР технологии называются продуктами холодной пастеризации, характеризующиеся более высоким содержанием витаминов и минеральных веществ (Milani и Silva, 2016; Sulaiman и др., 2017; van Wyk и др., 2018) [8, 9, 10].

Мясные продукты, приготовленные с помощью НРР технологии, это ветчины, беконы, готовые к употреблению продукты в вакуумной упаковке, имеют такие же органолептические показатели, что и обычные мясные продукты (Volkov A., 2020) [11].

Имеются отрицательные стороны воздействия НРР на мясо, увеличивается жесткость мяса. Если мясо обрабатывать при низком давлении (100–250 МПа) и температуре выше 60 °С, мясо становится более нежным. Обработка мяса при 150 МПа снижает потери при приготовлении, увеличивает влаг удерживающую способность [12].

При приготовлении мясных изделий из фаршей, обработанных НРР технологией образуются более эластичные гели, которые способствуют уменьшению потерь при приготовлении (Truong, B. Q., 2017) [13].

Verma & Banerjee, 2012 отметили, что в производстве консервированных мясных продуктов бактерицидная способность высокого давления позволяет снизить количество соли в продукте и консервирующих агентов, это в совокупности делает такие мясные продукты более здоровыми) [14].

В обзоре (Nuugen, M., 2024) несколькими исследованиями показано, что обработка под высоким давлением (НРР) может частично компенсировать потерю функциональных и сенсорных свойств мясных продуктов в результате снижения содержания NaCl [15].

Обработка высоким давлением (НРР) способствует улучшению микробиологической безопасности мяса и мясных продуктов (Hugas и др. 2002) [16].

В исследованиях Duma-Kocan, 2024 года были проведены исследования по хранению свинины. Каждая мышца, полученная из одной туши, была сегментирована на шесть отдельных частей, три из которых были обозначены как контрольные образцы (К), а остальные подвергались вакуумной упаковке и последующему воздействию высокого гидростатического давления (НРР) (200 МПа при 20 °С в течение 30 мин. Мясо хранилось в холодильнике при температуре $+3 \pm 0,5$ °С. Результаты показали значительное снижение общего числа микроорганизмов по сравнению с контрольным образцом после 7 дней хранения и 10 дней хранения в холоде [17].

(Kenesei, György, Gabriella Kiskó, and István Dalmadi, 2024) были проведены исследования использования технологии sous-vide и обработки высоким гидростатическим давлением (НРР) на мясе свинины (длиннейшая мышца грудной клетки и поясничная мышца (LTL)).

Дополнительная обработка свинины под давлением 300 МПа может повысить пищевую безопасность образцов свинины, приготовленных по технологии sous-vide. Обработка давлением 600 МПа приводит к получению стабильного, хотя и не длительного хранения продукта (Kenesei, György, 2024)[18].

В целом главными задачами НРР технологии являются уничтожение патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов и продление срока годности,

при этом сохраняя характеристики и качество мяса и мясных продуктов практически нетронутыми (Balasubramaniam и др., 2008) [19].

Данная технология широко используется в виноделии. Исследования Vuzrul, 2012 показали, что использование НРР технологии позволяют улучшить качество вина. НРР технологии способствуют старению вина. Вино, полученное с обработкой НРР технологии способствует приобретению цвета, pH, терпкости и мутности как у вина с выдержкой. Сокращаются процессы брожения с использованием НРР технологии. Подавляется рост дрожжей, вызывающих порчу продукта, в технологиях вин отсутствует потребность использования синтетических консервантов [20].

Corrales M., 2008, Morata A., 2015 в своих исследованиях показали влияние высокого гидростатического давления на извлечение цветных и фенольных соединений из винограда [21].

НРР технология способствует инактивации микроорганизмов в виноградном сусле [22].

Вина, в которых использовалось высокое давление, имели более коричневый цвет после одного года хранения и более низкую антиоксидантную активность, общее содержание фенольных соединений по сравнению с винами без давления. Данные исследования позволяют предположить влияние обработки на ускорение реакций Майяра, происходящих в период хранения вина (Comuzzo P., 2019) [23].

Переработка овощей и фруктов также может осуществляться с использованием НРР технологии в таблице представлены возможности применения данной технологии.

Фруктовые соки и напитки являются одним из употребляемых витаминизированными продуктами. Применение НРР является перспективной технологией, которая оказывает минимальное влияние на качество напитков (Waghmare, R., 2024) [24].

В исследованиях (Cheng и др., 2020) предложено применять режим 600 МПа, 5 мин при выработке мандаринового сока [25].

Инактивация микроорганизмов в молоке при НРР происходит из-за различных реакций клетки. Уровень микробной инактивации зависит от давления, продолжительности обработки, температуры, окружающей среды, количества и типов микробов [26].

Обработка технологией НРР молока снижает в нем количество микроорганизмов. Исследования (Drake MA, 1997) показали о значительном снижении микроорганизмов в сырах, изготовленных из пастеризованного молока и молока, обработанного НРР (3 цикла по 1 мин при 586 МПа), без изменения вкусовых качеств готового продукта [27].

Сыры, изготовленные из молока, обработанного НРР, показали уровень липолиза, как и в сырах, изготовленных из сырого и пастеризованного молока (Buffa et al., 2001) [28].

Выход сыра увеличивается при использовании давления 300 и 400 МПа в сыром и нагретом молоке. Это объясняется денатурацией и включением допол-

нительного β -LG в творог и большей степенью содержания влаги. (López-Fandiño и др., 1996) [29].

Применение НРР (Harte, F.M., 2003, Hernandez, A., 2008) 400-500 МПа в производстве йогуртов позволяет повысить устойчивость сгустка, снизить процесс синерезис сыворотки [30].

В производстве мороженого обработка (Huppertz, T., 2002) ННР сократила время старения смеси для мороженого. Давление 600 МПа в течение 2 минут улучшило взбиваемость сливок из-за лучших свойств кристаллизации молочного жира [31].

Данная технология находит широкое потенциальное применение в рыбной промышленности (G. Tabilo-Munizaga и др., 2010) для производства сурими и камабоко, как дополнительное средство при размораживании и термической обработке, а также для приготовления рыбы холодного копчения [32].

Применение НРР позволяет снизить аллергенность и улучшить усвояемость белков морепродуктов, таких как белки кальмара (Zhang, Deng, & Zhao, 2017). Применение НРР технологии в режиме 200–600 МПа в течение 20 мин снижает аллергенный потенциал белков морепродуктов, вызывая структурные (вторичные и третичные) модификации. Оказывает влияние на эпитопы и связывающие способности иммуноглобулинов E и G [33].

Яйца могут являться источниками пищевых заболеваний, связанных с сальмонеллой (Rakonjac и др., 2014) [34].

В связи с этим выгодно использовать пастеризованные смеси яичных продуктов.

Проводилась оценка возможности использования процесса ННР для разработки новой альтернативы жидкой тепловой пастеризации цельных яиц (Monfort и др., 2012) [35].

НРР технологии используют при обработке яичных продуктов. В проведенных исследованиях (Patazsa и др. 2007). Было обнаружено, что скорость нагрева при сжатии цельного сырого яйца, яичного белка и яичного желтка при начальной температуре 25 °C составила 3,3 °C/100 МПа, 2,9 °C/100 МПа и 4,3 °C/100 МПа [36].

В Канаде используются технологии НРР для обработки яичных продуктов (яичный салат, яичные соусы и яичные пасты), производимых Burnbrae Farms Ltd.

При этом используется режим при давлении 600 МПа в течение 2-минутного цикла к вареным яйцам, чтобы продлить срок годности этих продуктов во время охлаждения (Министерство здравоохранения Канады, 2015 г [37].

Обработка высоким гидростатическим давлением (ННР) (Buzrul S., 2021) при давлении и температуре в диапазоне 300–450 МПа и 0–50 °C в течение до 30 мин может быть успешно использована для инактивации нескольких бактерий в жидком цельном яйце. Для избегания коагуляции яичного белка, следует выбирать уровни давления ≤ 300 МПа и уровни температуры ≤ 20 °C, а время выдержки ≤ 5 мин. Были опробованы антимикробные агенты, такие как низин, в сочетании с ННР с целью снижения количества микроорганизмов [38].

В то же время технология имеет недостатки:

- большинство продуктов НРР необходимо хранить и транспортировать в охлажденном состоянии, так как обработка под давлением при температуре окружающей среды эффективна для снижения разнообразных растительных патогенов, и недостаточна для инактивации спор *Clostridium botulinum*.
- НРР технология неприменима к мучным продуктам и порошкообразные ароматизаторы с низким содержанием воды. НРР требует использования воды в качестве среды передачи давления, а продукты, содержащие пузырьки воздуха, будут деформироваться под давлением.
- упаковочный материал, используемый в НРР, должен иметь сжимаемость не менее 15%, поэтому для НРР подходят только пластиковые упаковочные материалы
- производственные мощности оборудования НРР значительно возросли; НРР выполняется партиями, что делает невозможным применение НРР на высокоскоростных производственных линиях. Если время пастеризации для каждой партии сократить для увеличения производственной мощности, может произойти недостаточная пастеризация.
- лишь несколько стран приняли соответствующие законы, правила или спецификации и одобрило НРР, как технологию нетермической пастеризации, которая может использоваться для замены традиционной пастеризации в пищевой промышленности (Hsiao-Wen Huang и др., 2017) [39].

Литература

1. Martínez-Monteagudo, S.I., Balasubramaniam, V.M. Fundamentals and Applications of High-Pressure Processing Technology. In: Balasubramaniam, V., Barbosa-Cánovas, G., Lelieveld, H. (eds) High Pressure Processing of Food// Food Engineering Series. Springer, New York, NY, 2016.
2. Kazutaka Yamamoto Food processing by high hydrostatic pressure// Bio-science, Biotechnology, and Biochemistry, 2017, 81:4, 672-679.
3. Hsiao-Wen Huang, Sz-Jie Wu, Jen-Kai Lu, Yuan-Tay Shyu, Chung-Yi Wang, Current status and future trends of high-pressure processing in food industry// Food Control, Volume 72, Part A, 2017, Pages 1-8.
4. Urrutia-Benet, G., Balogh, T., Schneider, J., & Knorr, D. Metastable phases during high-pressure-low-temperature processing of potatoes and their impact on quality-related parameters// Journal of Food Engineering, 2007, 78(2), 375–389.
5. Kazutaka Yamamoto Food processing by high hydrostatic pressure, Bio-science// Biotechnology, and Biochemistry, 2017, 81:4, 672-679,
6. Porto-Fett, A.C.S., Call, J.E., Shoyer, B.E., Hill, D.E., Pshebniski, C., Cocoma, G.J., & Luchansky, J.B. Evaluation of fermentation, drying, and/or high pressure processing on viability of *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp., and *Trichinella spiralis* in raw pork and Genoa salami// International Journal of Food Microbiology, 2010, 140(1), 61–75.
7. Bolumar T, Orlien V, Sikes A. et al. High-pressure processing of meat: Molecular impacts and industrial applications // Food Sci Food Saf., 2021, 20: 332–368.

8. Sulaiman, A.; Farid, M.; Silva, F.V.M. Strawberry puree processed by thermal, high pressure, or power ultrasound: Process energy requirements and quality modeling during storage// *Food Sci. Technol. Int.*, 2017, 23, 293–309.
9. Milani, E.A.; Silva, F. Nonthermal pasteurization of beer by high pressure processing: Modelling the inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* ascospores in different alcohol beers//*High Press. Res.* 2016, 36, 595–609.
10. Van Wyk, S.; Farid, M.M.; Silva, F.V. SO₂, high pressure processing and pulsed electric field treatments of red wine: Effect on sensory, *Brettanomyces* inactivation and other quality parameters during one year storage// *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2018, 48, 204–211.
11. Volkov, A., Donskova, L., & Kotkova, V. High Pressure Processing of Meat and Meat Products: Application Aspects and Prospects of Use. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 222, p. 03011), 2020, EDP Sciences.
12. Sazonova, Sanita, Ruta Galoburda, and Ilze Gramatina. Application of high-pressure processing for safety and shelf-life quality of meat-a review, 2017: 17-22.
13. Truong, B. Q., Buckow, R., Nguyen, M. H. & Furst, J. Effect of high-pressure treatments prior to cooking on gelling properties of unwashed protein from barramundi (*latas calcarifer*) minced muscle is try, 2017, 46 (12), 5289–5294.
14. Verma, A. K., & Banerjee, R. Low-sodium meat products: Retaining salty taste for sweet health. *Critical Reviews. //Food Science and Nutrition*, 2012, 52, 72e84.
15. Nuygen, M., Arvaj, L., & Balamurugan, S. The use of high-pressure processing to compensate for the effects of salt reduction in ready-to-eat meat products. *Critical Reviews. //Food Science and Nutrition*, 2022, 64(9), 2533–2547.
16. Hugas M, Garriga M, Monfort JM. New mild technologies in meat processing: high pressure as a model technology//*Meat Sci.*, 2002, 62:359–37.
17. Duma-Kocan, Paulina, Mariusz Rudy, Marian Gil, Jagoda Żurek, Renata Stanisławczyk, Anna Krajewska, and Dariusz Dziki. "The Influence of High Hydrostatic Pressure on Selected Quality Features of Cold-Storage Pork Semimembranosus Muscle" //*Foods* 13, 2024, no. 13: 2089.
18. Kenesei, György, Gabriella Kiskó, and István Dalmadi. "Combined Sous-Vide and High Hydrostatic Pressure Treatment of Pork: Is the Order of Application Decisive When Using Minimal Processing Technologies?"//*Applied Sciences* 14, 2024. № 9: 3583.
19. Balasubramaniam V.M., Farkas D., Turek E. Preserving foods through high- pressure processing // *Food Technol* 62, 2008:32–38.
20. Sencer Buzrul, High hydrostatic pressure treatment of beer and wine: A review, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Volume 13, 2012, Pages 1-12.
21. Corrales, M.; Toepfl, S.; Butz, P.; Knorr, D.; Tauscher, B. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2008, 9, 85–91.
22. Morata, A.; Loira, I.; Vejarano, R.; González, C.; Callejo, M.J.; Suárez-Lepe, J.A. Emerging preservation technologies in grapes for winemaking. *Trends Food Sci. Technol.*, 2017, 67, 36–43.

23. Comuzzo P, Calligaris S. Potential Applications of High-Pressure Homogenization in Winemaking: A Review. *Beverages.*, 2019; 5(3):56.
24. Waghmare, R. High pressure processing of fruit beverages: A recent trend // *Food and Humanity*, 2024, 100232.
25. C. Cheng, M. Jia, Y. Gui, Y. Ma Comparison of the effects of novel processing technologies and conventional thermal pasteurisation on the nutritional quality and aroma of Mandarin (Citrus unshiu) juice// *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64, 2020, Article 102425, 10.1016/j.ifset.2020.102425.
26. Voigt, D.D., Kelly, A.L., & Huppertz, T. High-pressure processing of milk and dairy products. *Emerging Dairy Processing Technologies: Opportunities for the Dairy Industry*, 2015. 71-92.
27. Drake MA, Harrison SL, Asplund M, Barbosa-Cánovas G, Swanson BG. High pressure treatment of milk and effects on microbiological and sensory quality of Cheddar cheese// *J Food Sci*, 1997, 62:843–860.
28. Buffa M, Guamis B, Pavia M, Trujillo AJ. Lipolysis in cheese made from raw, pasteurized or high-pressure-treated goats' milk// *Int Dairy J* 11. , 2001a:175–179.
29. López-Fandiño R, Olano A. Cheese-making properties of ovine and caprine milks submitted to high pressures// *Lait*, 1998. 78:341–350.
30. Harte, F.M., Luedecke, L., Swanson, B.G., and Barbosa-Canovas, G.V. “Low-Fat Set Yogurt Made from Milk Subjected to Combinations of High Hydrostatic Pressure and Thermal Processing.” // *J. Dairy Sci.* 2003, 86: 1074-82.
31. Huppertz, T., Kelly, A. L., and Fox, P.F. “Effect of High Pressure on Constituents and Properties of Milk.”// *Int. Dairy J*, 2002, 12: 561-72.
32. Ortea, I., Rodríguez, A., Tabilo-Munizaga, G. *et al.* Effect of hydrostatic high-pressure treatment on proteins, lipids and nucleotides in chilled farmed salmon (*Oncorhynchus kisutch*) muscle // *Eur. Food Res. Technol.*, 2010. 230, 925–934.
33. Zhang, Y., Deng, Y., & Zhao, Y. Structure-based modelling of hemocyanin allergenicity in squid and its response to high hydrostatic pressure // *Scientific Reports*, 2017. 7(1), 40021.
34. Rakonjac S., Bogosavljevic-Boskovic S., Pavolovsk Z., Škrbic Z., Doskovic V., Petrovic M.D., Petričević V. Laying hen rearing systems: A review of major production results and egg quality traits // *Worlds Poult Sci. J.*, 2014. 70: 93–104.
35. Monfort S, Ramos S, Meneses N, Knorr D, Raso J, Álvarez I. Design and evaluation of a high hydrostatic pressure combined process for pasteurization of liquid whole egg// *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2012, 14: 1–10.
36. Patazca E, Koutchma T, Balasubramaniam VM. Quasi-adiabatic temperature increase during high pressure processing of selected foods// *J. Food Eng.*, 2007. 80(1):199–205.
37. Health Canada. 2015. Novel food information - High pressure processing (HPP)-treated egg salad, egg dips, and egg spreads. Available from: http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/gmf-agm/appro/hpp_egg-oeuf_uhp-eng.php. Accessed Dec, 2016.
38. Buzrul, S. High hydrostatic pressure applications on liquid whole egg // *World's Poultry Science Journal*, 2021. 77(1), 71–90.

39. Hsiao-Wen Huang, Sz-Jie Wu, Jen-Kai Lu, Yuan-Tay Shyu, Chung-Yi Wang, Current status and future trends of high-pressure processing in food industry//Food Control, 2017, Volume 72, Part A, Pages 1-8.