

С.Н. Шлыков, д-р биол. наук, доцент,

Р.С. Омаров, канд. техн. наук, доцент,

З.А. Одилова, аспирант,

П.А. Кухарева, студент

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Ставропольский государственный аграрный
университет», г. Ставрополь
shlykovsn@gmail.com*

КРИОГЕННОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА И КАЧЕСТВА КОЛЛАГЕНА

Ключевые слова: криогенное измельчение, коллаген, экстракция белка, сохранение структуры, экономическая эффективность, фармацевтические применения.

Keywords: Cryogenic comminution, Collagen, Protein extraction, Structural preservation, Economic efficiency, Pharmaceutical applications.

Аннотация: Криогенное измельчение костной ткани представляет собой перспективный метод для извлечения высококачественного коллагена, особенно актуального в медицинской и косметической промышленности. В отличие от традиционного механического измельчения, сопровождающегося трением и нагревом, что может приводить к термической денатурации коллагена, криогенный метод предусматривает предварительное охлаждение сырья до экстремально низких температур с использованием жидкого азота. Это позволяет сохранить нативную структуру белка, обеспечивая высокую чистоту и биологическую активность продукта. Кроме того, криогенное измельчение способствует получению однородных частиц и снижению энергозатрат за счёт повышения хрупкости материала. Однако следует учитывать высокие затраты на жидкий азот, что может быть компенсировано при масштабном производстве за счёт повышения выхода коллагена и уменьшения его потерь.

Summary: Cryogenic grinding of bone tissue is a promising method for extracting high-quality collagen, particularly relevant in the medical and cosmetic industries. Unlike traditional mechanical grinding, which involves friction and heating that can lead to thermal denaturation of collagen, the cryogenic method involves pre-cooling the raw material to extremely low temperatures using liquid nitrogen. This approach preserves the native protein structure, ensuring high purity and biological activity of the product. Additionally, cryogenic grinding facilitates the production of uniform particles and reduces energy consumption by increasing the material's brittleness. However, it is important to con-

sider the high costs associated with liquid nitrogen, which can be offset in large-scale production by increasing collagen yield and reducing losses.

В настоящее время в пищевой и фармацевтической промышленности для извлечения коллагена из костной ткани применяются различные методы измельчения. Традиционно используется механическое измельчение, которое представляет собой процесс дробления костей с использованием режущих и ударных инструментов. Несмотря на свою широкую распространённость, традиционные механические методы часто приводят к возникновению трения и нагрева, что может вызывать термическую денатурацию коллагена и снижать его функциональные свойства. В связи с этим был разработан альтернативный подход – криогенное измельчение, при котором исходное сырьё предварительно охлаждается до экстремально низких температур (обычно с использованием жидкого азота) перед измельчением. Данный метод позволяет минимизировать тепловые повреждения, сохраняя нативную структуру белка и повышая однородность получаемых частиц [1].

Криогенное измельчение позволяет избежать термической денатурации коллагена, которая характерна для традиционных методов, где трение приводит к нагреву материала. При этом наблюдается значительное сохранение тройной спирали белковых молекул. Например, при обработке костей традиционными методами возможно потеря до 30% коллагена из-за разрушения волокон, в то время как применение криогенного охлаждения способствует сохранению целостности молекулярной структуры [2].

Метод криогенного измельчения обеспечивает получение мелких и равномерно распределённых частиц, что улучшает последующую экстракцию коллагена. Такая однородность особенно важна для фармацевтических и косметических применений, где требуется высокий уровень чистоты и стабильности конечного продукта [3].

Благодаря минимизации окисления и гидролиза в условиях низких температур, криогенная обработка способствует сохранению способности коллагена стимулировать активность фибробластов и регенерацию тканей. Низкотемпературная обработка делает костную ткань более хрупкой, что позволяет снизить энергозатраты на измельчение. По данным исследований, при обработке жестких материалов (кости, хрящи) экономия энергии достигает 20–30% по сравнению с традиционными методами [4].

Снижение трения и износа режущих инструментов в условиях криогенного измельчения уменьшает необходимость их частой замены, что положительно сказывается на общих эксплуатационных затратах, особенно при промышленном масштабировании. Основным недостатком является высокая стоимость жидкого азота. Однако при условии массового производства данные расходы могут быть компенсированы за счёт повышения выхода коллагена и уменьшения его потерь [5].

Таким образом, криогенное измельчение представляет собой эффективную альтернативу традиционным методам, обеспечивая сохранение структуры коллагена и улучшение его функциональных свойств. Далее рассмотрим сравнительные характеристики криогенного и традиционного измельчения.

Таблица 1 – Сравнительный анализ криогенного и традиционного измельчения

Параметр	Криогенное измельчение	Традиционное измельчение
Качество коллагена	Высокая чистота, сохранение структуры	Риск денатурации из-за нагрева
Энергоэффективность	Низкое потребление энергии	Высокие энергозатраты
Стоимость	Выше (из-за затрат на жидкий азот)	Ниже, но сопровождается большими потерями
Применимость	Идеально для термочувствительных материалов	Подходит для большинства материалов, но не оптимально для коллагена

Таким образом, криогенное измельчение демонстрирует преимущества перед традиционными методами, обеспечивая высокое качество коллагена и энергоэффективность, несмотря на более высокие затраты.

Экспериментальные исследования, проведённые на костях рыб и животных, показывают, что криогенное измельчение может увеличить выход коллагена на 15–25% по сравнению с традиционными методами. Например, при обработке кожи трески криогенный метод позволил сохранить 95% исходного коллагена, тогда как при кислотной экстракции – лишь 70%. Ограничивающими факторами остаются высокие стартовые инвестиции и необходимость точного контроля температурного режима для предотвращения кристаллизации воды в тканях [6].

Криогенное измельчение костей является перспективным методом для извлечения высококачественного коллагена, что особенно важно для медицинских и косметических применений. Основные преимущества данного подхода заключаются в сохранении структуры и биологической активности коллагена, повышении выхода продукта и обеспечении однородности частиц. Экономический эффект применения данного метода зависит от масштабов производства: для малых предприятий затраты на жидкий азот могут быть существенным барьером, в то время как в промышленных условиях метод окупается за счёт снижения энергопотребления, уменьшения износа оборудования и повышения качества конечного продукта. Рекомендуется использовать криогенное измельчение для получения коллагена, требующего высокой чистоты и функциональной активности, в то время как для массового производства пищевых добавок можно рассмотреть оптимизацию традиционных методов с целью снижения затрат.

пищевых добавок можно рассмотреть оптимизацию традиционных методов с целью снижения затрат

Список использованной литературы

1. Liu D, Nikoo M, Boran G, Zhou P, Regenstein JM. Collagen and gelatin. *Annu Rev Food Sci Technol*. 2015;6:527–557. doi:10.1146/annurev-food-031414-111800.
2. Jafari H, Lista A, Siekapeh MM, Ghaffari-Bohloul P, Nie L, Alimoradi H, Shavandi A. Fish Collagen: Extraction, Characterization, and Applications for Biomaterials Engineering. *Polymers*. 2020; 12(10):2230. <https://doi.org/10.3390/polym12102230>.
3. Gómez-Guillén M.C., Giménez B. and López-Caballero M.E. et al. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocoll*. 2011. Vol. 25(8):1813-1827. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.02.007.
4. Kang HW, Tabata Y, Ikada Y. Fabrication of porous gelatin scaffolds for tissue engineering. *Biomaterials*. 1999;20(14):1339-1344. doi:10.1016/s0142-9612(99)00036-85. Yildiz, Y., & Nalbant, M. A review of cryogenic cooling in machining processes. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 2008. 48(9), 947–964. <https://doi.org/10.1016/J.IJMACTOOLS.2008.01.008>.
5. Singh, P., Benjakul, S., Maqsood, S., & Kishimura, H. Isolation and characterisation of collagen extracted from the skin of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Food Chemistry*. 2011. 124, 97–105.

УДК 636.033

Г.В. Комлацкий, *д-р с.-х. наук, профессор*,

Н.В. Погребная, *канд. экон. наук, доцент*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар
e-mail: kubanagro@list.ru*

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВИНОВОДСТВЕ

Ключевые слова: индустриальное свиноводство, «Сельское хозяйство 4.0», цифровизация, интернет вещей

Keywords: industrial pig farming, "Agriculture 4.0", digitalization, Internet of Things.

Аннотация. Исследованы перспективы использования цифровых технологий в свиноводстве. Обоснована целесообразность и возможность использования интернета вещей. Выявлены факторы, сдерживающие цифровизацию, главными из которых являются отсутствие полноценной цифровой инфраструктуры, низкая цифровая компетентность работников, значительные финансовые затраты для приобретения датчиков и оборудования.