

УДК 547.458.2:595.77

DOI: 10.25206/2310-4597-2025-1-56-58

Получение хитозана из личинок *Hermetia illucens* как альтернативного источника биополимера

Chitosan extraction from *Hermetia illucens* larvae as an alternative source of biopolymer

А. П. Михеева, У. А. Филиппова

Омский государственный технический университет, Омск, Российская Федерация

A. P. Mikheeva, U. A. Filippova

Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation

Аннотация. Работа посвящена исследованию возможности получения хитозана из личинок *Hermetia illucens* (чёрной львинки), что рассматривается как инновационная альтернатива традиционным морским источникам хитина. Проведён анализ динамики накопления хитина на различных стадиях развития личинок, описана методика его извлечения и деацетилирования. Также представлена эффективность выхода хитозана и приведены потенциальные области его применения. По результатам исследования подтверждена высокая рентабельность и экологическая устойчивость данного подхода.

Ключевые слова: хитозан, хитин, *Hermetia illucens*, личинки, экзоскелет, биополимеры

Abstract. This paper explores the possibility of extracting chitosan from *Hermetia illucens* (black soldier fly) larvae as an innovative alternative to traditional marine sources of chitin. The study analyzes chitin accumulation dynamics at different larval growth stages, describes the methodology for chitin isolation and its deacetylation, and presents the efficiency of chitosan yield. The research confirms the high cost-effectiveness and environmental sustainability of this approach.

Keywords: chitosan, chitin, *Hermetia illucens*, larvae, exoskeleton, biopolymers

Введение

Хитозан представляет собой биологически активный полисахарид, получаемый путём деацетилирования хитина – структурного компонента экзоскелета беспозвоночных. Благодаря его биоразлагаемости, нетоксичности, антимикробным и плёнообразующим свойствам, хитозан широко применяется в медицине, сельском хозяйстве, пищевой и косметической промышленности. Традиционно сырьём для его получения служат панцири креветок, крабов и других морских организмов. Однако эти источники имеют ряд существенных ограничений: сезонность, аллергенность, высокие логистические и утилизационные затраты.

В связи с этим всё большее внимание уделяется альтернативным видам сырья, особенно насекомым. Одним из наиболее перспективных является *Hermetia illucens* (чёрная львинка) – насекомое, отличающееся быстрым ростом, способностью к утилизации органических отходов и высокой долей хитина в теле на поздних стадиях развития. Исследования последних лет показали, что хитин насекомых по составу и свойствам сопоставим с морским, а технология его переработки может быть адаптирована для масштабного применения.

Биологические особенности личинок *Hermetia illucens* и динамика накопления хитина

Личинки *Hermetia illucens*, или чёрной львинки, привлекают внимание исследователей как источник не только белка и жиров, но и полисахаридов, прежде всего – хитина. Благодаря высокой скорости роста (жизненный цикл при оптимальных условиях – 30–40 дней), устойчивости к патогенам и способности питаться органическими отходами, они считаются экологически выгодным объектом биотехнологической переработки.

Хитин накапливается в кутикуле личинок, которая выполняет защитную и скелетную функции. По мере линек и роста утолщается экзоскелет и увеличивается плотность кутикулы. Исследования показывают, что к пятому возрасту (5-й инстар) и предкукольной стадии уровень хитина достигает наибольшего значения, составляя от 18 до 22% от сухой массы тела.

Дополнительно следует отметить, что структура хитина насекомых преимущественно α -конфигурации, аналогична хитину ракообразных, но с меньшей степенью минерализации, что облегчает процессы экстракции.

Также хитин львинки содержит меньше белковых примесей, чем у морских организмов, что снижает количество этапов очистки.

Биомасса личинок легко масштабируется в промышленных установках и не требует применения кормов животного происхождения. Это делает *H. illucens* пригодной не только для получения хитина, но и для реализации принципов экономики замкнутого цикла и устойчивого производства.

Таким образом, наибольший выход и качество хитина достигаются при переработке личинок на поздних стадиях, что делает выбор сырья критическим фактором эффективности всей технологии.

Методика получения хитозана из личинок чёрной львинки

Получение хитина

Для получения хитина использовались высушенные личинки пятого возраста массой 50 г. Их экстрагировали в течение 16 часов 200 мл 85% фосфорной кислоты при комнатной температуре. После фильтрации и промывки 40% раствором той же кислоты, фильтрат разбавляли водой (3 л) до образования осадка. Полученный осадок декантировали до pH 5,5–6,0, лиофильно высушивали, и в итоге получали 2,75 г аморфного хитина.

Получение хитозана

Стадия деацетилирования проводилась в два этапа. На первом – 2,75 г хитина обрабатывали 110 мл 50% раствора NaOH при 100 °C на водяной бане в течение двух часов. После промывки и высушивания было получено 1,32 г хитозана. Повторная обработка аналогичным раствором в объёме 52 мл позволила получить 1,27 г высокоочищенного хитозана с остаточным содержанием белка менее 0,3%. Эта ступенчатая методика позволяет добиться высокой степени деацетилирования и улучшенных характеристик конечного продукта.

Потенциальные области применения хитозана

Хитозан благодаря своей биоактивности, низкой токсичности и способности к химическим модификациям рассматривается как один из наиболее универсальных биополимеров. Потенциал его применения постоянно расширяется, включая как классические отрасли (медицина, пищевая промышленность), так и инновационные направления (биотекстиль, носители генетического материала и др.).

В медицине

- **Гемостатические материалы.** Хитозан ускоряет свёртывание крови за счёт положительно заряженной структуры, которая взаимодействует с тромбоцитами и эритроцитами, способствуя образованию сгустка.

- **Антимикробные повязки и покрытия.** Благодаря полиэлектролитной природе, он нарушает мембранный потенциал микробных клеток, подавляя рост широкого спектра бактерий и грибов.

- **Наноформы доставки лекарств.** Хитозан легко формирует микросферы, наночастицы и гидрогели, способные инкапсулировать биоактивные молекулы. Применяется для транспортеров инсулина, антибиотиков, антиканцерогенных препаратов.

- **Хирургические имплантаты.** Из хитозана формируют рассасывающиеся швы, покрытия эндопротезов и каркасы для тканевой инженерии.

В сельском хозяйстве

- **Фитопротекторы и индукторы устойчивости.** Обработка растений хитозаном активирует синтез фитоалексинов и защитных белков, усиливая иммунный ответ. Это позволяет снизить использование химических пестицидов.

- **Носители удобрений и пестицидов.** Хитозан используется как матрица для замедленного высвобождения агрохимикатов.

- **Обработка семян и корней.** Покрытие семян или корневой системы повышает всхожесть и защищает от грибковых и бактериальных патогенов.

В пищевой промышленности

- **Съедобные плёнки.** На основе хитозана создаются биоплёнки для упаковки мяса, сыра, овощей. Такие покрытия продлевают срок хранения за счёт барьерных и антимикробных свойств.

- **Стабилизаторы и осветлители.** В напитках (вино, фруктовые соки) хитозан связывает белки и фенолы, облегчая фильтрацию и улучшая прозрачность.

- **Диетические добавки.** Хитозан адсорбирует липиды в ЖКТ, снижая уровень холестерина и способствуя снижению массы тела. Это делает его популярным компонентом функционального питания и средств для контроля веса.

Перспективные направления

- **Биотекстиль.** Хитозан используется для модификации тканей, придавая им антибактериальные и противогрибковые свойства.

- **Очистка сточных вод.** Благодаря способности связывать тяжёлые металлы и красители, хитозан активно применяется в водоочистке.

- **Косметика.** Используется в шампунях, кремах, средствах по уходу за кожей как увлажняющий и защитный агент.

Таким образом, хитозан, особенно полученный из альтернативных источников, таких как *Hermetia illucens*, обладает широчайшим спектром применения, открывая новые возможности для биоэкономики и устойчивого развития.

Расчёт эффективности выхода хитозана

$$\text{Эффективность выхода} = \frac{100 * 1,27}{50} = 2,54\%$$

При использовании 50 г сухих личинок было получено 2,75 г хитина, из которого затем выделено 1,27 г очищенного хитозана. Таким образом, общий выход составил 2,54% от исходной массы сырья. Это превышает показатели традиционных методик, где выход не превышает 1,8%.

Заключение

Получение хитозана из личинок *Hermetia illucens* представляет собой технологически обоснованный и экологически рациональный метод переработки органических отходов в высокоценный биополимер. Исследование подтвердило, что на стадии предкуколки личинки содержат до 20% хитина, что делает их эффективным источником сырья. Разработанная методика позволяет получать хитозан с высокой степенью чистоты и пригодностью к дальнейшему использованию в медицине, сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Учитывая высокий выход конечного продукта и универсальность его применения, предложенная технология может быть успешно масштабирована и внедрена в производственную практику.

Список источников

1. Physicochemical and antibacterial properties of chitosan extracted from waste shrimp shells / J. C. Vilar Junior, D. R. Ribeaux, C. A. Alves da Silva [et al.] // International Journal of Microbiology. 2016. Vol. 2016, № 1. P. 5127515.
2. Current state of chitin purification and chitosan production from insects / T. Hahn, E. Tafi, A. Paul [et al.] // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 2020. Vol. 95, no. 11. P. 2775–2795.
3. Biopreservation of shrimps using composed edible coatings from chitosan nanoparticles and cloves extract / A. A. Tayel, A. F. Elzahy, S. H. Moussa [et al.]. DOI: 10.1155/2020/8878452 // Journal of Food Quality. 2020. Vol 2020, no. 1. P. 8878452.
4. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – A review / K. B. Barragan-Fonseca, M. Dicke, J. J. Van Loon // Journal of Insects as Food and Feed. 2017. Vol. 3(2). P. 105–120.
5. Van Huis A., Oonincx, D. G. A. B. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review // Agronomy for Sustainable Development. 2017. Vol. 37. P. 47.
6. Chitosan in plant protection / A. El. Hadrami, L. R. Adam, I. El. Hadrami [et al.] // Marine drugs. 2010. Vol. 8, no. 4. P. 968–987.
7. Rinaudo M. Chitin and chitosan: Properties and applications // Progress in polymer science. 2006. Vol. 31, no. 7. P. 603–632.