

УДК 637.03

НЕ ПЛАСТИК – А ПЛАВНИК, НЕ МУСОР – А ЕДА ДЛЯ ПОЧВЫ

Т.А. Лопушко, студент

Научный руководитель – **В.В. Шумак**, д.сх.н., доцент, профессор кафедры
Полесский государственный университет

Настоящая работа посвящена анализу потенциала применения передовых технологий утилизации отходов переработки речного карпа, направленных на рациональное использование вторичных ресурсов в рыбохозяйственном комплексе и аквакультуре. В рамках исследования проведен обзор существующих способов трансформации биологических отходов речного карпа в биоразлагаемую упаковку, а также определены наиболее эффективные подходы к переработке сырья (чешуи, кожи, костей, жиросодержащих остатков карпа) для создания новых функциональных материалов.

Утилизация отходов переработки речного карпа, проживающего на территории Беларуси, является перспективным направлением, которое позволяет решать экологические задачи и одновременно расширять сырьевую базу промышленности. Благодаря современным технологиям становится возможным эффективно использовать вторичные ресурсы переработки речного карпа для создания новых материалов и изделий широкого спектра применения. Особый интерес представляет разработка биоразлагаемой упаковки на основе коллагена и иных компонентов, содержащихся в отходах речного карпа (чешуе, коже, костях, жиросодержащих остатках). Такая упаковка отличается уникальными характеристиками – высокой прочностью, влагостойкостью и устойчивостью к микробиологическому воздействию, что делает её конкурентоспособной на рынке экологически безопасной продукции. Переработка позволяет значительно уменьшить объем рыбных отходов, попадающих в окружающую экосистему, где они могут стать источником загрязнения и распространения вредных бактерий.

Разработка новых технологических подходов к производству упаковки для рыбных продуктов из биоразлагаемых материалов из отходов рыбной промышленности.

Первичным сырьем является карп речной, проживающий на территории Беларуси. Отходы его переработки предварительно измельчаются до консистенции однородной пасты – это обеспечивает равномерность последующих технологических операций. Далее измельченную массу подвергают варке при температуре 90–100 °С, в результате чего белок денатурируется, а последующее разделение компонентов облегчается. Сваренную массу направляют в шнековый пресс, где под давлением удаляется избыточная влага: так отделяется основная часть воды, а масса подготавливается к дальнейшему обезвоживанию. Отделенная жидкость поступает в центрифугу, где разде-

ляется на три фракции: жир, воду и белковую взвесь. Жир собирают отдельно для получения ценного рыбьего жира, а оставшуюся жидкость передают на дальнейшую переработку.

Отходы переработки речного карпа можно использовать в следующих направлениях:

- Рыбий жир и жиродержащие отходы речного карпа – сырьё для производства биопластика (поли-3-гидроксibuтират). Прозрачные, влагостойкие пленки с антибактериальным эффектом для упаковки продуктов. Разлагаются до воды и CO₂;

- Чешуя карпа – источник коллагена для создания биопластика. Прочные, гибкие и легкие материалы. В компосте разлагаются за 4–6 недель. Подходят для пакетов и оберток;

- Кожа (чешуя) карпа – источник коллагена и желатина для биопленок. Эластичные пленки, блокирующие УФ-лучи. Хорошо подходят для сухих продуктов (орехи, крупы);

- Кости речного карпа – источник для получения связующих биополимеров. Используются в композите с другими отходами (овощными, фруктовыми) для создания биоразлагаемых материалов. Белковые концентраты из отходов речного карпа (кожа, кости, обрезь). Основа для композитных пленок в сочетании с желатином. Биоразлагаемые упаковочные пленки с хорошими барьерными свойствами, которые полностью разлагаются в почве за 11 дней [1].

Технологии переработки рыбных отходов постоянно совершенствуются и современные тенденции охраны окружающей среды и устойчивого экономического развития учитывают натуральность происхождения товарной продукции и возможности рационального использования природных ресурсов.

Биопластик представляет собой альтернативу традиционным пластиковым материалам, и его привлекает внимание в контексте устойчивого развития и защиты окружающей среды. Один из интересных подходов к производству биопластиков заключается в использовании органических отходов, таких как некондиционный рыбный жир, в качестве углеродного субстрата для синтеза полигидроксиалканоатов (ПГА).

Полигидроксиалканоаты – это группа полимеров, которые производятся микроорганизмами в процессе ферментации углеродных источников. ПГА являются биоразлагаемыми и могут быть использованы как устойчивая альтернатива традиционным пластикам, поскольку они разлагаются естественным образом в окружающей среде.

Процесс получения полигидроксиалканоатов из некондиционного рыбного жира включает несколько этапов:

1. Подготовка сырья, очистка рыбного жира от примесей и неорганических материалов.

2. Для ферментации используются специальные микроорганизмы (например, бактерии родов *Ralstonia*, *Cupriavidus* и *Bacillus*), которые могут перерабатывать жирные кислоты, полученные из рыбного жира, в полигидроксиалканоаты. Ферментация проводится в оптимальных условиях (температура, pH, наличие кислорода)[2].

3. Экстракция представляет собой, завершения процесса ферментации полимеры выделяются из бактериальных клеток, используя методы экстракции и очистки.

4. Полученные полимеры могут быть переработаны в формы, годные для дальнейшего использования (например, гранулы для 3D-печати, пленки, изделия и т. д.).

В основе технологии лежат биохимические и ферментационные процессы, которые позволяют извлекать ценные полимеры, такие как хитозан, из природных кормов. Эти полимеры затем используются для создания компостируемых пленок на основе крахмала, целлюлозы или других биоматериалов[3].

Для экстракции коллагена высушенное и измельченное сырьё карпа подвергали ферментативному гидролизу. Обработку проводили с использованием протеолитических ферментных препаратов, таких как коллагеназа или препараты на основе *Bacillus subtilis*, в оптимальных условиях (pH 6,5-7,5; температура 35-40 °C) в течение 4-8 часов. Соотношение "субстрат:ферментный препарат" и конкретные параметры (pH, температура, время) подбирали экспериментально для максимизации выхода гидролизата. Затраты на подготовку сырьевой базы, включая энергию, воду, трудозатраты и стоимость ферментных препаратов, были оценены на уровне 140–250 белорусских рублей за одну метрическую тонну готового высушенного и подготовленного к экстракции продукта [4].

Затраты на проведение ферментативного гидролиза, последующую фильтрацию и ультрафильтрацию, включая стоимость ферментного препарата, мембран, электроэнергии и амортизации обо-

рудования, оцениваются в 300-400 белорусских рублей за одну метрическую тонну полученного концентрированного белкового продукта.

Концентрированный белковый гидролизат использовали в качестве основы для пленкообразующего раствора. Для придания пленке эластичности, прочности и стабильности при хранении в состав вводили следующие добавки:

- Глицерин используют в качестве пластификатора в концентрации 15-30% от массы сухих белков. Он снижает внутреннее напряжение и хрупкость пленки, увеличивая ее гибкость.

- Стабилизаторы применялись для предотвращения окисления липидов и белков и увеличения срока годности, так, например, вводили аскорбиновую кислоту в дозе 0,5-1,0% или токоферол.

При необходимости для модификации свойств могли добавляться модификаторы pH, антимикробные агенты (лизозим, хитозан)[5].

Компоненты смешивали в скоростном смесителе-гомогенизаторе при комнатной температуре в течение 30-60 минут до получения визуально однородной, вязкой жидкости.

Для формирования пленки использовался один из двух методов:

- Метод полива (литья) заключается в том, что пленкообразующий раствор деаэрировали и наносили тонким слоем на идеально гладкие и антиадгезионные подложки. Толщина слоя контролировалась с помощью отрывного аппликатора.

- Метод экструзии позволяет расплав или концентрированный раствор подавать через щелевую головку экструдера на конвейерную ленту или барабан, что позволяет переходить к крупносерийному производству.

Отлитые слои сушили в камерах с принудительной циркуляцией воздуха при температуре 25-35 °C и контролируемой относительной влажности (~40-50%) в течение 12-24 часов до достижения равновесной влажности. После сушки получалась прочная, самонесущая пленка. Толщина готовой пленки составляет в среднем 50 ± 5 мкм. Стоимость необходимого технологического оборудования для организации производственной линии (емкостные реакторы-смесители, гомотензаторы, дозирующие насосы, установки для литья или экструзии, сушильные туннели или камеры, намоточные станки) оценивается примерно в 400000,00 белорусских рублей. Операционные затраты на тонну готовой продукции. Общие производственные затраты, включая стоимость белкового концентрата, пластификатора, антиоксидантов, электроэнергию на сушку и работу оборудования, водоподготовку и оплату труда персонала, оцениваются в 900 – 1200 белорусских рублей за одну метрическую тонну готовой биопленки.

Преимуществами нового материала станут:

1. Использование дешевого сырья (отходов от разделки рыбы);
2. Уникальность предложения («Рыба в упаковке из рыбы»), позволяющая эффективно выделяться среди аналогов и привлекать внимание потребителей.

Использование предложенного подхода позволяет синтезировать материалы, отличающиеся высокими механическими показателями и пригодные для использования в промышленной упаковке рыбы, рыбных и морепродуктов. Полученные данные открывают перспективные направления в сфере переработки с минимальным воздействием на окружающую среду, а также способствуют расширению функциональных возможностей биокomпозитных материалов. Возможно использование рыбных отходов в производстве расходных технических материалов, подвергающихся микробиологическому разложению после потери технологических свойств. Последующие исследования будут ориентированы на масштабирование производственного процесса и увеличение выходных характеристик.

Список использованных источников

1. Лисовой В.В., Иванова Е.Е. Состояние и перспективы производства комбинированных и формованных продуктов на основе рыбного сырья / Известия вузов. Пищевая технология. – 2008. – № 2/3. – С. 13–15.
2. Кизеветтер И.В. Технологическая и химическая характеристика промысловых рыб тихоокеанского бассейна. – Владивосток: Дальиздат, 1971. – 298 с.
3. Волова, Т.Г. Ученые приготовили из рыбных отходов сложный двухкомпонентный пластик / Т.Г. Волова. – Москва : 2025. – 48 с.

4. Крутько, Э. Т. Технология биоразлагаемых полимерных материалов : учеб.- метод. пособие для студентов специальности 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 02 04 «Технология пластических масс» / Э. Т. Крутько, Н. Р. Прокопчук, А. И. Глоба. – Минск : БГТУ, 2014. – 105 с.

5. Шумак В.В. Моделирование и оптимизация технологических процессов производства продуктов питания из животного сырья / В. В. Шумаки [др.]. – Пинск :ПолесГУ, 2024. – 118 с.