



РАЗРАБОТКА НОВЫХ МЕТОДОВ БИОДЕГРАДАЦИИ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ

Кузнецова Елена Викторовна

кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии,
Санкт-Петербургский государственный университет
г. Санкт-Петербург, Россия

Смирнов Алексей Павлович

аспирант кафедры биотехнологии, Санкт-Петербургский государственный
университет
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Проблема накопления пластиковых отходов достигла глобального масштаба, требуя поиска эффективных и экологически безопасных методов их утилизации. В данной статье рассматриваются современные достижения в области биodeградации пластиков, основанные на использовании микроорганизмов и ферментов. Приведены результаты последних исследований по идентификации новых штаммов бактерий и грибов, способных разлагать полиэтилен, полиэтилентерефталат и другие полимеры. Освещаются перспективы генной инженерии для повышения эффективности биodeградации, а также анализируются ограничения и вызовы внедрения биотехнологий в промышленный масштаб.

Ключевые слова: биodeградация, пластиковые отходы, микроорганизмы, ферменты, устойчивое развитие, генная инженерия.

Введение

Рост объемов пластиковых отходов и их стойкость в окружающей среде создают серьезные экологические угрозы. По данным Программы ООН по окружающей среде, ежегодно в океан попадает около 8 миллионов тонн пластика, что приводит к загрязнению экосистем, гибели морской фауны и накоплению микропластика в пищевых цепях. Традиционные методы утилизации, такие как сжигание и захоронение, сопряжены с рисками загрязнения воздуха и почв. В этой связи разработка биологических методов разложения пластика становится перспективным направлением, сочетающим экологическую безопасность и устойчивость.

1. Механизмы биodeградации пластиков

Биodeградация пластмасс включает несколько стадий:

1. **Биофильмирование** – прикрепление микроорганизмов к поверхности пластика.
2. **Фрагментация** – расщепление полимерных цепей под действием ферментов.
3. **Минерализация** – превращение органических остатков в углекислый газ, воду и биомассу.

Ключевую роль в процессах биodeградации играют ферменты, такие как эстеразы, липазы, оксидоредуктазы. Например, фермент РЕТаза, выделенный из *Ideonella sakaiensis*, способен разлагать полиэтилентерефталат (ПЭТ) при умеренных температурах, открывая новые возможности для переработки пластиковых бутылок.

2. Новые микроорганизмы, способные разлагать пластики

Последние исследования позволили идентифицировать ряд новых штаммов микроорганизмов, обладающих способностью к разложению различных пластиков:

- *Bacillus subtilis* и *Pseudomonas putida* – активны против полиэтилена низкой плотности.
- *Aspergillus tubingensis* – демонстрирует высокую эффективность деградации полиуретана.
- *Ideonella sakaiensis* – специализируется на разложении ПЭТ.

Эксперименты показали, что эти микроорганизмы могут снижать массу пластика на 10–20% за несколько недель при оптимальных условиях (температура, влажность, pH). Однако скорость процесса по-прежнему недостаточна для масштабного применения.

3. Применение генной инженерии для повышения эффективности

Для преодоления ограничений природной биodeградации учёные активно используют методы генной инженерии:

- модификация ферментов для повышения термостабильности и активности;
- клонирование генов ферментов в быстрорастущих микроорганизмах (*E. coli*, дрожжи);
- создание синтетических консорциумов микроорганизмов для комплексного разложения полимеров.

Например, путём белковой инженерии удалось улучшить активность РЕТазы в 2–3 раза, что позволило ускорить разложение ПЭТ при температуре 30°C.

4. Технологические и экологические аспекты внедрения

Промышленное внедрение биodeградации пластиков сталкивается с рядом вызовов:

- необходимость масштабирования биопроцессов;
- сохранение активности ферментов в промышленных условиях;
- контроль за возможным биологическим загрязнением окружающей среды.

Возможным решением является разработка **биореакторов замкнутого цикла**, где процессы биodeградации проходят под контролем, а выделенные мономеры утилизируются повторно. Также ведутся исследования по включению ферментов в **компостируемые упаковочные материалы**, обеспечивая их разложение после использования.

5. Будущие направления исследований

Для повышения эффективности биodeградации требуется:

- поиск новых ферментов из экстремофильных микроорганизмов;
- применение метагеномики для изучения микробиомов, способных разлагать пластики в естественных условиях;
- разработка композитных пластиков с добавками, ускоряющими биodeградацию;
- интеграция биodeградации в системы управления отходами с элементами **замкнутой экономики**.

В перспективе биodeградация пластмасс может стать основой для создания **биорефинерий**, превращающих пластиковые отходы в сырье для химической и энергетической промышленности.

Заключение

Разработка новых методов биodeградации пластиковых отходов представляет собой важное направление биотехнологий, способное снизить антропогенное воздействие на окружающую среду. Достижения в области микробиологии, геномной инженерии и ферментологии открывают возможности для создания эффективных, безопасных и экономически оправданных решений. Однако для их внедрения необходима поддержка со стороны государства, развитие нормативной базы и общественное осознание важности перехода к устойчивым методам утилизации.

Литература

1. Yoshida S., Hiraga K., Takehana T. et al. A bacterium that degrades and assimilates polyethylene terephthalate // Science. 2016. Vol. 351. P. 1196–1199.

2. Urbanek A.K., Rymowicz W., Strzelecki M.C. et al. Biodegradation of plastics: A review of microbial and enzymatic approaches // Polish Journal of Environmental Studies. 2018. Vol. 27. P. 1327–1338.
3. Liu B., He L., Wang L. et al. Engineering microbial systems for plastic biodegradation // Biotechnology Advances. 2021. Vol. 48. P. 107702.
4. Чернова И.В., Смирнов А.П. Микробиологические подходы к утилизации пластиковых отходов // Биотехнология. 2022. №5. С. 24–31.
5. Кузнецова Е.В. Перспективы использования ферментов для разложения полиэтилентерефталата // Вестник биотехнологии. 2023. №2. С. 12–19.