

Пластик на десерт

Белорусские учёные обнаружили бактерии, которые могут перерабатывать пластиковые отходы. Как оказалось, эти микроорганизмы обитают в Слепянской водной системе. Благодаря изучению их адаптивных механизмов, в перспективе с помощью биотехнологий возможна разработка инновационных методов для утилизации ненужного пластика.

Ежегодное мировое производство различных пластических синтетических материалов уже превысило 430 млн т, а к 2060 г., по прогнозам, этот показатель может вырасти до 1 млрд т. Востребованность их огромна. Однако высокий спрос породил экологическую проблему - загрязнение окружающей среды пластиковыми отходами. В настоящее время уже более 8 млрд т ранее произведённого и использованного пластика в виде мусора валяется на планете. Он везде - от вершины Эвереста до Марианской впадины в Тихом океане.

Долговечность и прочность при сравнительно невысокой цене - то, почему искусственно синтезированные пластики приобрели необычайную популярность и распространение, - оказалось их же самым проблемным аспектом. Простой сбор и складирование на свалках ненужных вещей, которые могут столетиями не разлагаться, а часть - крошиться на более мелкие фракции и разноситься с воздушными и водными потоками по всей Земле, - не решает задачи эффективной утилизации. Нужны иные методы.

Пластики - искусственно синтезированные материалы, получаемые из нефти, природного газа, угля или биологического сырья. Основу составляют полимеры, а свойства определяются добавками и технологией производства.

Сбор и рециклинг пластиковых отходов пока является наиболее действенным способом. Однако, как

показывают исследования, в мировом масштабе такой переработке подвергается менее 10 %. Именно поэтому усилия многих учёных сегодня направлены на совершенствование этого процесса, чтобы сделать его более эффективным, дешёвым и доступным. И тут могут помочь биотехнологии.

Любители пластмасс

Как заметили биологи, появление в природе в разных средах огромного количества пластика запустило адаптационные механизмы у некоторых живых организмов. Несмотря на то что пластмассы - искусственный материал, появились те, кто начал включать новое «блюдо» в свой рацион. Немецкие учёные, например, выяснили, что гусеница восковой моли может питаться полиэтиленом и быстро его «перерабатывать». По их расчётам, 100 тыс. гусениц способны съесть 5 кг полиэтилена менее чем за неделю. Конечно, в масштабах планеты этот вклад незначителен, но и новое «блюдо» возникло в общем-то не так давно.

Поскольку проблема оборота и утилизации пластиковых отходов в полной мере затрагивает и Беларусь, наши учёные также ведут соответствующие исследования. Есть и первые открытия. Более подробно об этой работе рассказала **Дарья ГУЛЯЕВА**, младший научный сотрудник лаборатории «Коллекция микроорганизмов» Института микробиологии Национальной академии наук Беларуси.

- Дарья Евгеньевна, так в чём заключается открытие?

- В 2020 г., поступив в магистратуру, я начала изучать бактерии, выделенные из водоёмов Беларуси. В ходе работы удалось получить около 90 штаммов микроорганизмов. Внимание привлекла бактерия- психрофил, способная расти при низких температурах и активно утилизирующая крахмал. После секвенирования генома (расшифровки

нуклеотидной последовательности генов. - Прим, ред.) выяснилось, что перед нами представитель совершенно нового вида. В 2023 г. Международный комитет по систематике прокариот (ICSP) официально подтвердил статус нашего открытия: бактерия получила название *Roseateles amylovorans*.

В аспирантуре продолжила исследование биотехнологического потенциала этого микроорганизма. Анализ генома показал, что наш штамм обладает генами, отвечающими за утилизацию биоразлагаемых полимеров, таких как поликапролактон и полигидроксиалканоаты (применяются в медицине и 3D-печати). На данный момент предварительные результаты экспериментов подтверждают, что *R. amylovorans* действительно способна в качестве источника питания выбирать поликапролактон. Данные исследования открывают возможность использования нашей бактерии в очистке воды и почвы от пластикового загрязнения.

- Бактерии - это даже не гусеницы. Неужели их вклад может быть значительным?

- Исследования микроорганизмов на предмет наличия у них способности разлагать пластик - сейчас одна из самых актуальных тем в мировом сообществе. Долгое время считалось, что пластмассы - это абсолютно инертные материалы, которые не способен разрушить ни один живой организм, так как подобных соединений раньше просто не существовало в биосфере. Однако с 1980-х учёные находят бактерии и грибы, успешно расщепляющие сложные полимеры: целлофан, нейлон и поликапролактон, а сейчас и самые распространённые пластики (полиэтилен, ПЭТ-бутылки и т. д.). Даже упоминавшиеся ранее гусеницы способны поедать полиэтилен во многом благодаря своим

С 1980-х учёные находят бактерии и грибы, успешно расщепляющие сложные полимеры: целлофан, нейлон и поликапролактон, а сейчас и самые распространённые пластики (полиэтилен, ПЭТ-бутылки и т. д.).

кишечным бактериям. Поэтому сейчас учёные сконцентрированы на поиске активных ферментов - биологических катализаторов. В отличие от простого измельчения, микро-организмы включают пластик в свой метаболизм, буквально «переваривая» его и полностью разлагая до воды и углекислого газа. В будущем это позволит более эффективно перерабатывать такие отходы с помощью микроорганизмов, не оставляя в результате токсичных веществ и микропластика.

- Пластики бывают разные. Есть ли у бактерий предпочтения или они могут есть всё без разбора?

- Разумеется, у микроорганизмов есть свои предпочтения. Пластики различаются по химическому составу, и для разрушения каждого вида требуется специфический набор ферментов, закодированных в генах бактерии. Например, в расщеплении ПЭТ (полиэтилентерефталата) участвуют ферменты ПЭТаза и МГЭТаза. Они эффективно разрывают связи в ПЭТ-бутылках, но совершенно бессильны против полипропилена или поливинилхлорида (ПВХ). Большинство известных «пластикоядных» белков относятся к классам гидролаз (липазы, эстеразы, кутиназы) или оксидоредуктаз (пероксидазы, лакказы), которые способны атаковать прочные углерод-углеродные связи. Интересно, что с эволюционной точки зрения эти ферменты не возникли из ниоткуда. Учёные полагают, что они развились из белков, которые миллионы лет перерабатывали нефть и нефтеподобные соединения, ведь именно из этого сырья сегодня производится большинство пластмасс. Сейчас с помощью инструментов геномной инженерии учёные способны менять структуру фермента, увеличивая скорость и эффективность разложения пластика в десятки раз. Также внедряются нужные гены в хорошо изученные лабораторные бактерии или дрожжи. Это позволяет «научить» их поедать конкретный вид пластика или даже несколько видов одновременно, создавая универсальные системы для переработки отходов.

- А не боитесь, что случайно можно создать монстра, который размножится и начнёт есть любую пластмассу без разбора? Не получится, как в рассказе у Рэя Брэдбери «Ржавчина»?

- Страх перед неуправляемым микроорганизмом понятен, но сценарий Рэя Брэдбери в реальности практически невозможен по нескольким фундаментальным причинам. Во-первых, пластик слишком неоднороден. Не существует универсального фермента, способного переварить и ПЭТ-бутылку, и по-лиэтиленовый пакет, и детали компьютера. Каждый вид пластика требует своего уникального биохимического подхода. Кроме того, в промышленную пластмассу добавляют стабилизаторы и антиоксиданты, которые могут замедлять или полностью нарушать процесс биodeградации. Во-вторых, жёсткие условия среды. Для эффективной работы ферментов нужны строго определённые условия - температура и уровень pH. В открытой природе условия постоянно меняются, что делает невозможным бесконтрольное поедание пластика бактериями. Вдобавок для жизни бактериям нужна влажная среда, поэтому на сухой поверхности стола или внутри бытового прибора шанс на их выживание крайне мал. В-третьих, встаёт вопрос экономии энергии. Для микроорганизма поедание пластика - достаточно сложный и энергозатратный процесс. Синтез специфических ферментов требует колоссальных ресурсов. В естественной среде любая бактерия предпочтёт пластику легкодоступный сахар или органические остатки.

- В каком направлении планируете дальнейшие исследования?

- На текущем этапе наш коллектив сосредоточен на детальном изучении процесса разложения поликапролактона бактерией *R. amylovogans*. Мы хотим точно измерить скорость утилизации и определить факторы, которые на неё влияют. Важно понимать, как микроорганизм ведёт себя при разных температурах, как на процесс влияют концентрация пластика и степень его кристалличности. Мы также исследуем, как меняются физико-химические свойства

самого полимера под воздействием бактерий, что поможет понять механизм разрушения материала на молекулярном уровне. Кроме того, важно выделить и охарактеризовать конкретные ферменты, которые «разрезают» полимерные цепи, а также выяснить, происходит ли полная минерализация пластика. Проверяем, не остаётся ли в среде микропластик после завершения процесса. Надеемся, наши исследования станут научно обоснованной базой для создания эффективных биотехнологий по очистке сточных вод и почв от синтетических загрязнений.»

Андрей КОРАБЕЛЬНИКОВ