

БИОДЕГРАДАЦИЯ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ ЛИЧИНКАМИ COLEOPTERA MOLITOR (COLEOPTERA, TENEBRIONIDAE)*

Хурма Мухамметгулыева,

*Заведующая лабораторией пищевых технологий
Международного научно-технологического парка Академии наук Туркменистана*

Сапаргельды Дурдыев,

*Заведующий отделом повышения квалификации работников образования
Национального института образования Туркменистана,
доктор биологических наук*

Аннотация

Пластиковые изделия накапливаются в почве в виде твердых соединений, которые не разрушаются в окружающей среде и оказывают вредное воздействие на наземные и водные экосистемы. Саморазложение пластиковых отходов в окружающей среде происходит на протяжении нескольких столетий. По этой причине изобретение новых способов быстрого рассеивания пластиковых отходов по всему миру является одной из важнейших задач науки.

*Основная цель исследования – описать биodeградацию отходов полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) личинками разного возраста *Tenebrio molitor*. Было обнаружено, что при использовании метода энтеромедиаии *Tenebrio molitor* биоразлагает отходы ПЭНП при температуре $24 \pm 1^\circ\text{C}$, относительной влажности $78 \pm 2\%$, 3,3% по данным гравиметрических тестов и 2,25% по данным инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR) тестов за 15 дней.*

Ключевые слова: отходов ПЭНП, *Tenebrio molitor*, энтеромедиаация, FTIR, биodeградация.

Сегодня во всем мире в промышленных масштабах производятся сотни полимерных изделий, а миллионы одноразовых пластиковых пакетов (упаковок), упаковочного пластика, пластиковых контейнеров и пластиковых бутылок ежедневно выбрасываются в окружающую среду (Somia, Mubashar et al., 2020). Большинство из них представляют собой экономичные термопластичные полимеры. К ним относятся полиэтилентерефталат (ПЭТ), полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), полипропилен и др. принадлежит полиэтиленовые пластики составляют 30% от общего объема пластиковых изделий, производимых в мире (Pokynbroda, Koretska et al., 2022).

Полиэтиленовые пластики состоят из длинных цепочек атомов углерода, связанных между собой водородными связями. Полиэтиленовые пластики широко используются в упаковке пищевых продуктов и других предметов. Количество полиэтиленовых пакетов, используемых в год, достигает от 500 миллиардов до 1 триллиона. Ежегодно количество пластика, собираемого на суше и на морском побережье, достигает 25 миллионов тонн (Zeenat, Amina et al., 2021). Они имеют полукристаллическую структуру и устойчивы к биodeградации (Nisha, Zahra et al., 2021; Allen, Iano, 2019). Следует подчеркнуть, что ряд исследований по изучению биodeградации

* Мухамметгулыева Х.Б. e-mail: hurmamhammetgulyyeva@gmail.com

полиэтилена был проведён учеными в разных странах, и такие исследования продолжаются. По данным ученых, проводивших эти исследования, микроорганизмы, способные гидролизовать полиэтилен, были выделены из почвы, морской воды, активного ила и кишок личинок таких насекомых, как *Galleria melonella*, *Tenebrio molitor* и *Plodia interpunctella* (Pokynbroda, Koretska et al., 2022).

По результатам исследований, проведенных такими учеными как Фахрул, Ринанти, Салмиати, Сунарио, 8,45% ПЭДПЭ были разложены микробным консорциумом и грибами за 10 дней при температуре 30°C по гравиметрическому методу, а 6,27% – по методу FTIR (Pokynbroda, Koretska et al., 2022).

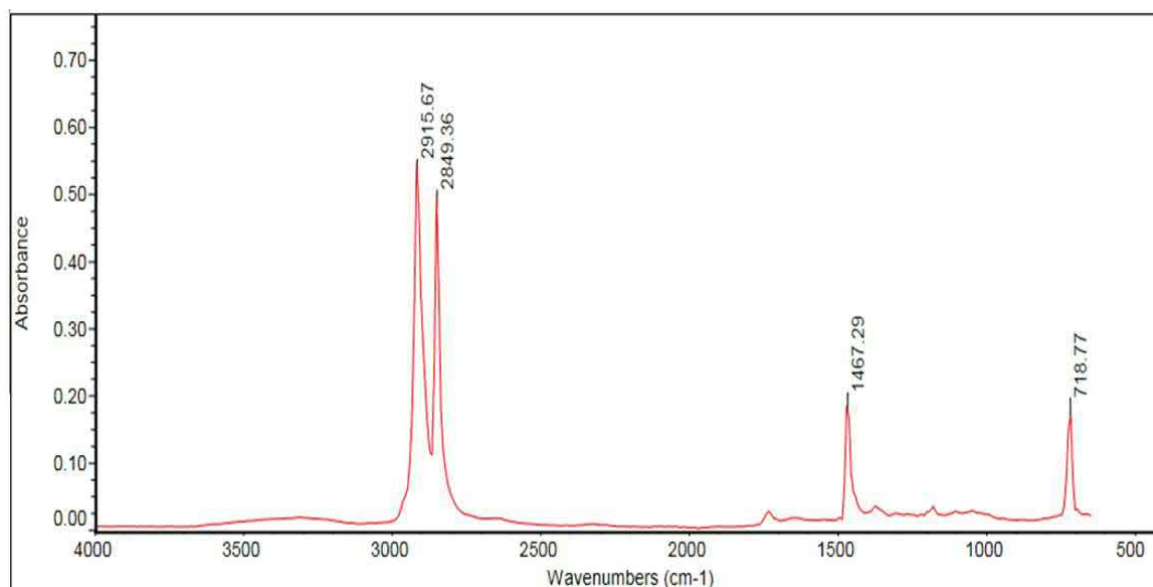
П. Булак, К. Проц, А. Питлак, А. Пушка, Б. Гавджик, А. Бегановский сообщили, что вес 0,0052 грамма полиэтиленового пластика уменьшился на 69,7% за 58 дней в результате поедания личинками *Tenebrio molitor* (Bulak, Proc et al., 2021). Р.Дж. Кабельо Торрес, М.М. Басуальдо Линдоа, С. Гомес Эстрада, Д. Несиосуп Гонсалес, К.А. Кастанеда Оливера, Э.А. Исследования Кабельо-Ромеро показали, что черви *T. molitor* могут биоразлагать отходы виниловых (поливинилхлоридных) перчаток за 15 дней (Cabello, Basualdo et al., 2023).

Материалы и методы

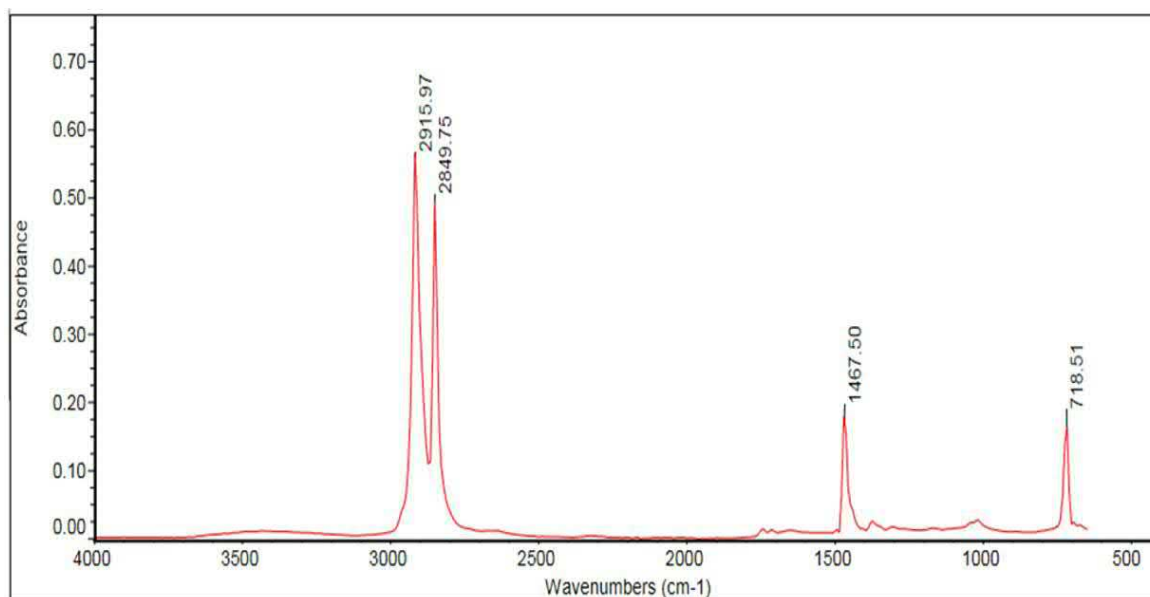
Материалы исследования. Для исследовательской работы были использованы личинки *Tenebrio molitor* (период роста 3-4 года), выращенные в лаборатории пищевых технологий Международного научно-технологического парка Академии наук Туркменистана. В ходе испытаний были отобраны образцы отходов ПЭНП, использованных в упаковке оборудования. Их химическая структура была определена методом FTIR.

Эксперименты по кормлению личинок жуков. Суперличинкам *Tenebrio molitor* (200 особей) давали ПЭНП (0,0259 г) в пластиковых контейнерах (длина х ширина х высота = 35х24х7 см). Для контрольных опытов группу личинок в контейнере такого же размера кормили пшеничными отрубями. Для экспериментов были подготовлены группы личинок, питающихся полистиролом, и контрольные группы в трёх повторностях. В ходе экспериментов непрерывно измеряли потерю веса полистирола и количество живых личинок жука. Количество живых личинок, питающихся полистиролом, сравнивали с контрольной группой. Эксперименты проводились в течение 15 дней при температуре $24 \pm 1^\circ\text{C}$, влажности $78 \pm 2\%$ и фото периоде 8:16 (С:Т).

Инфракрасная спектrophотометрия с преобразованием Фурье (FTIR) тестов. FTIR анализ использовался для определения изменений функциональных групп в образцах полистирола, проглоченных личинками *Tenebrio molitor*. В исследованиях FTIR спектроскопия используется для измерения количества инфракрасного света, поглощаемого или излучаемого образцом, в зависимости от длины волны. Полученные результаты спектра представлены в виде длины волны (м) или волнового числа (cm^{-1}). Изменения химической структуры образцов измеряли в диапазоне длин волн $500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ с помощью FTIR исследований. FTIR спектроскопия используется для обнаружения или демонстрации изменений в физико-химии образцов. Появление новых полос указывает на химические изменения, а изменение числа длин волн – на физические изменения. Волновое число от 2500 до 3000 cm^{-1} представляет собой типичный пик для ПЭ. С его помощью можно оценить биодegradацию ПЭНП (рис. 1).



а) 0 день



б) 15 день, 24°C

Рисунок 1. FTIR анализы биодegradации образцов ПЭНП с использованием личинок *Tenebrio molitor*.

а) до биодegradации образцов ПЭНП, б) после биодegradации образцов ПЭНП

По данным научной литературы, стандартная длина волны (пик) ПЭНП составляет 2920 см⁻¹, что объясняется растяжением связей CH₂ (Мелати и др., 2021). На рисунке 1, когда длина волны ПДПЭ составляла 2915,67 см⁻¹ в день 0, оптическая плотность ПДПЭ равнялась 0,56. Через 15 дней длина волны ПЭНП увеличилась до 2915,97 см⁻¹, а оптическая плотность возросла до 0,57. Следующая формула использовалась для преобразования значений поглощения ПЭНП в значения поглощения (Т%) (Melati et al., 2021).

$$T\% = -\log (2\text{-поглощение})$$

Дegradация образцов ПЭНП личинками *Tenebrio molitor* при 24°C в течение 15 суток составила 2,25%.

Гравиметрические исследования. Для гравиметрического анализа вес образцов ПЭНП измеряли до и через 15 дней после употребления в пищу личинок *Tenebrio molitor*. Результаты этих исследований представлены в таблице ниже (табл. 1).

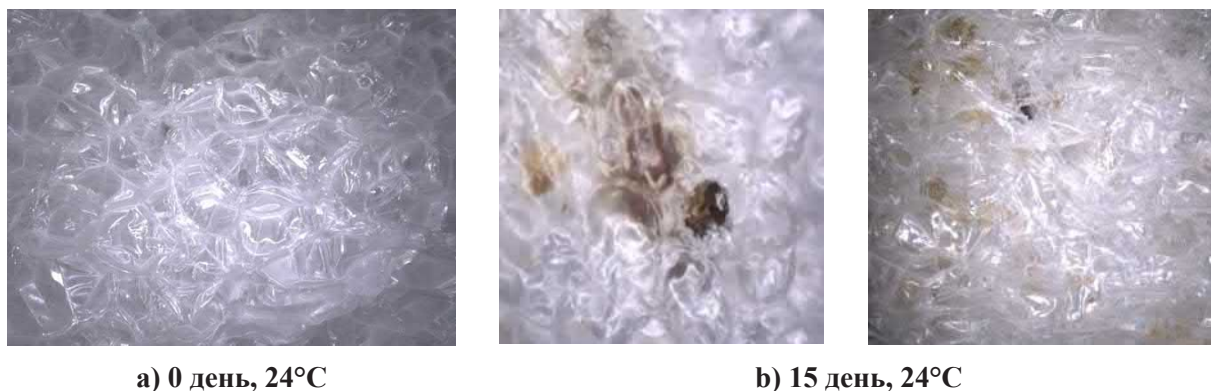
Таблица 1.

Гравиметрические исследования

Время	Вес образцов ПДПЭ		
W0 (0 день)	0.0264	0.0257	0.0259
W0 (15 день)	0.0255	0.0249	0.0250

Данные, представленные в таблице 1, показывают, что при воздействии личинок *Tenebrio molitor* образцы ПЭНП разлагались на 3,3% при температуре $24 \pm 1^\circ\text{C}$.

Микроскопические исследования. Микроскопическое (Keyence VHX-2000) исследование образцов ПЭНП выявило морфологические изменения на поверхности пластиковых листов после воздействия личинок *Tenebrio molitor*. По сравнению с фотографиями до испытаний, фотографии после испытаний показывают наличие небольших отверстий на поверхности листов ПЭНП и образование уникального покрытия на поверхности листа вследствие питания личинок мучнистого червеца (рисунок 2).



а) 0 день, 24°C

б) 15 день, 24°C

Рисунок 2. Результаты микроскопии биодegradации образцов ПЭНП с использованием личинок *Tenebrio molitor* при температуре $24 \pm 1^\circ\text{C}$.

а) до биодegradации образцов ПЭНП, б) после биодegradации образцов ПЭНП

ВЫВОДЫ

По результатам исследований, проведенных в лабораторных условиях, личинки вида *Tenebrio molitor*, представителя энтомофауны Туркменистана, могут нормально обитать в средах ПЭНП, развиваться и превращаться в крупных жуков (имаго). Под микроскопом были замечены морфологические изменения (изгибы) на поверхности образцов ПЭНП. Через 15 дней на поверхности листов ПЭНП при 24°C были отчетливо видны повреждения, вызванные личинками. Также было научно доказано, что личинки *Tenebrio molitor* разлагали образцы ПЭНП на 3,3% по данным гравиметрического анализа и на 2,25% по данным FTIR анализа в течение 15 дней.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Nisha M, Zahra M, Parveen K.S., David B.L.* Microbial and Enzymatic Degradation of Synthetic Plastics. November 2020, Volume 11, Article 580709.
2. *Zeenat, Amina Elahi, Dilara Abbas Bukhari, Saba Shamim, Abdul Rehman Amina Elahi, Abdul Rehman.* Plastics degradation by microbes: A sustainable approach. Journal of King Saud University – Science 33 (2021) 101538.
3. *Pokynbroda T., Koretska N., Gąszczak A., Szczyrba E.* Biodegradation of polyethylene using soil bacteria and rhamnolipids. Prace Naukowe ICh PAN, 26, 73-91 (2022).
4. *Melati Ferianita Fachrul, Astri Rinanti, Salmiati, Thalia Sunaryo.* Degradation of Polyethylene Plastic Waste by Indigenous Microbial Consortium and Fungi. p-ISSN 2579-9150; e-ISSN 2579-9207, Volume 5, Number 1, page 86 - 103, October 2021.
5. *Bulak P., Proc K., Pytlak A., Puszka A., Gawdzik B., Bieganski A.* Biodegradation of Different Types of Plastics by Tenebrio molitor Insect. Polymers 2021, 13, 3508. <https://doi.org/10.3390/polym13203508>
6. *Cabello Torres R.J., Basualdo Lindoa M.M., Gomez Estrada S., Neciosup Gonzales D., Castaneda Olivera C.A., Cabello-Romero E.A.* Biomechanical Recycling of Plastic Waste Using Tenebrio molitor Larvae, Chemical Engineering Transactions, 102, 319-324 DOI:10.3303/CET23102054. 30 August 2023.
7. *Somia Liaqat, Mubashar Hussain, Muhammad Faheem Malik, Asifa Aslam and Kainat Mumtaz.* Microbial ecology: A new perspective of plastic degradation. Pure and Applied Biology. Vol. 9, Issue 4, pp2138-2150, July 2020.
8. *Allen E & Iano J.* (2019). Fundamentals of building construction: materials and methods. John Wiley & Sons.