

РЕЦИКЛІНГ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено найперспективніші методи рециклінгу пластикових відходів, які можуть бути використані. Встановлено їх переваги та особливості в експлуатації та впроваджені. Біологічна переробка пластику здійснюється з використанням потоків пластикових відходів як вуглецю субстрат для біотехнологічних процесів, подібно до підходу, який використовується для лігноцелюлози сировина. Було виявлено кілька ферментів, які мають гідролітичні властивості для деполімеризації певних пластмас, тоді як можуть розвиватися процеси мікробної ферментації для перетворення деполімеризованої пластмаси на більш цінні продукти, наприклад, біополімери.

Ключові слова: рециклінг, пластик, відходи, переробка пластик.

Abstract

The most promising methods of recycling plastic waste, which can be used, have been studied. Their advantages and peculiarities in operation have been established and implemented. Biological processing of plastic is carried out using plastic waste streams as a carbon substrate for biotechnological processes, similar to the approach used for lignocellulosic raw materials. Several enzymes have been identified that have hydrolytic properties to depolymerize certain plastics, while microbial fermentation processes may be developed to convert depolymerized plastics into more valuable products, such as biopolymers.

Keywords: recycling, plastic, waste, plastic processing.

Вступ

Попит на пластик різко зріс протягом останніх десятиліть і триває зростає, досягнувши 460 Мт у 2019 р., таким чином подвоївшись порівняно з 234 Мт, заявленими в 2000 р. [1]. Пластмаси використовуються в різноманітних продуктах, домінуючи та перевершуючи інші матеріали, оскільки вони універсальні, дешеві, легкі та стійкі; однак вони також дуже різноманітні і як правило, призначені для довговічності, а не для переробки, що часто призводить до кінця терміну служби управління цими матеріалами досить складне. Як наслідок, ми стали свідками збільшення накопичення пластикових відходів у навколишньому середовищі, і це явище має зараз досягла таких масштабів, що була визнана глобальною проблемою.

Результати дослідження

Біологічна переробка пластику здійснюється з використанням потоків пластикових відходів як вуглецю субстрат для біотехнологічних процесів, подібно до підходу, який використовується для лігноцелюлози сировина [2]. Було виявлено кілька ферментів, які мають гідролітичні властивості для деполімеризації певних пластмас, тоді як можуть розвиватися процеси мікробної ферментації для перетворення деполімеризованої пластмаси на більш цінні продукти, наприклад, біополімери [3–5]. Тим не менш, біологічному шляху зазвичай перешкоджає пластикова непокірність, зазвичай пов'язані з гідрофобністю та кристалічністю. Біорозкладаність пластмас можуть бути дуже різними залежно від їхньої хімічної структури: поліолефіни, такі як поліетилен (PE) і поліпропілен (PP) (які є одними з найпоширеніших пластмас).

Звичайні методи переробки не можуть встигати за збільшенням кількості та різноманітності пластикових відходів. Механічна переробка в основному включає подрібнення та гранулювання відносно чистий пластик перетворюється на дрібні частинки, які потім перетворюються на нові продукти без істотних змін хімічної структури. Він являє собою найдосконалішу технологію переробки з відносно низькими викидами парникових газів. Широко описано в літературі [6]. Приклади механічної переробки включають переливання поліолефінових відходів для вуличних меблів, настіль і огорож або пляшок з поліетилентерефталату (ПЕТ) на взуття. Однак у реальній ситуації великі потоки пластикові відходи після споживання мають форму (забруднених) змішаних пластмас, наприклад, багатошарові

плівки (комбінація різних типів полімерів), оцинковані полімери (комбінація пластику з іншими матеріалами, такими як метали, вуглець, скловолокно тощо), і добавками (такими як антипірени та пластифікатори) [7-9]. Механічна переробка вимагає сортування і процес очищення перед переробкою, що робить обробку забруднених та/або змішаних пластикових потоків надзвичайно складною, що часто призводить до переробки на менш цінні продукти. Кількість циклів також обмежена, через псування пластику пластикові матеріали [10], і, як наслідок, нові технології, такі як хімічна переробка були розроблені для зменшення такого обмеження.

Хімічна переробка включає термохімічні та каталітичні перетворення, такі як піроліз, газифікація, каталізований рідиною крекінг, гідрокрекінг і хемоліз (гліколіз, гідроліз, метаноліз, аміноліз). Ці процеси руйнують полімер при високих температурах, з каталізаторами або без них, до суміші олігомерів/мономерів та/або газоподібних продуктів і, таким чином, придатні для обробки гетерогенного та забрудненого пластику. Однак, ці методи переробки зазвичай дорогі, часто використовують дуже велику кількість хімікатів, та/або є енергоємними, залишаючи після себе небезпечні гази та токсичні залишки. Зокрема, хімічне перетворення виділяє більше парникових газів (на тонну обробленого пластику), ніж більшість інші види обробки, за винятком лише спалювання.

Окрім біотехнологічної переробки, зараз широко застосовуються нові процеси переробки вивчено та розробляється. Наприклад, можливість перетворити споживчий ПЕТ на полігідроксіалканоат (PHA) шляхом ферментативної деполімеризації та подальшої бактеріальної ферментації, що дозволяє дослідникам отримувати біоматеріал із хорошими технічними характеристиками. потенціал заміщення, нові властивості (залежно від співполімеру) та здатність до біологічного розкладання. З цієї точки зору, споживаний пластик можна переробити, а не просто переробити. Крім того, біологічні методи мають ту перевагу, що їх можна застосовувати до забруднених пластикових відходів (наприклад, харчові продукти або ґрунт) і не вимагають попереднього розділення різних частки. Крім того, висока селективність ферментів може дозволити поступове видалення специфічних компонентів змішаних пластикових відходів, що полегшує подальшу переробку; таким чином, він може вийти за межі механічної та хімічної переробки [11].

Висновки

На завершення важливо підкреслити, що лише додаткові зусилля для оцінювання економічної доцільності і екологічний вплив таких поєднаних біологічних процесів проілюструвати їх життєздатність і внесок у циркулярну економіку. Останні дослідження біодеградації пластикових відходів дозволили створити процесів біодеполімеризації пластику для деяких типів пластику, прокладаючи таким чином шлях для більш екологічних процесів переробки пластику.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. OECD. Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options; OECD Publishing: Paris, France, 2022.
2. Wierckx, N.; Prieto, M.A.; Pomposiello, P.; de Lorenzo, V.; O'Connor, K.; Blank, L.M. Plastic waste as a novel substrate for industrial biotechnology. *Microb. Biotechnol.* 2015, 8, 900–903.
3. Johnston, B.; Radecka, I.; Hill, D.; Chiellini, E.; Ilieva, V.; Sikorska, W.; Musioł, M.; Zięba, M.; Marek, A.; Keddie, D.; et al. The Microbial Production of Polyhydroxyalkanoates from Waste Polystyrene Fragments Attained Using Oxidative Degradation. *Polymers* 2018, 10, 957.
4. Tiso, T.; Narancic, T.; Wei, R.; Pollet, E.; Beagan, N.; Schröder, K.; Honak, A.; Jiang, M.; Kenny, S.T.; Wierckx, N.; et al. Towards bio-upcycling of polyethylene terephthalate. *Metab. Eng.* 2021, 66, 167–178.
5. Narancic, T.; Salvador, M.; Hughes, G.M.; Beagan, N.; Abdulmutalib, U.; Kenny, S.T.; Wu, H.; Saccomanno, M.; Um, J.; O'Connor, K.E.; et al. Genome analysis of the metabolically versatile *Pseudomonas umsongensis* GO16: The genetic basis for PET monomer upcycling into polyhydroxyalkanoates. *Microb. Biotechnol.* 2021, 14, 2463–2480.
6. Ragaert, K.; Delva, L.; Geem, K.V. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Manag.* 2017, 69, 24–58.
7. Gala, A.; Guerrero, M.; Serra, J.M. Characterization of post-consumer plastic film waste from mixed MSW in Spain: A key point for the successful implementation of sustainable plastic waste management strategies. *Waste Manag.* 2020, 111, 22–33.

8. Hahladakis, J.N.; Velis, C.A.; Weber, R.; Iacovidou, E.; Purnell, P. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *J. Hazard. Mater.* 2018, 344, 179–199.

9. Hatti-Kaul, R.; Nilsson, L.J.; Zhang, B.; Rehnberg, N.; Lundmark, S. Designing Biobased Recyclable Polymers for Plastics. *Trends Biotechnol.* 2020, 38, 50–67. [CrossRef]

10. Abu-Thabit, N.Y.; Pérez-Rivero, C.; Uwaezuoke, O.J.; Ngwuluka, N.C. From waste to wealth: Upcycling of plastic and lignocellulosic wastes to PHAs. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 2021, 97, 3217–3240.

11. 33. Vollmer, I.; Jenks, M.J.F.; Roelands, M.C.P.; White, R.J.; van Harmelen, T.; de Wild, P.; van der Laan, G.P.; Meirer, F.; Keurentjes, J.T.F.; Weckhuysen, B.M. Beyond Mechanical Recycling: Giving New Life to Plastic Waste. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2020, 59, 15402–15423.

Пасічник Єва Миколаївна — студентка групи ЕКО-23б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail:eva2005perebeynos@gmail.com

Кватернюк Сергій Михайлович — д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com

Pasichnyk Yeva M.— student of ECO-23b group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : :eva2005perebeynos@gmail.com.

Kvaterniuk Serhii M. — D.Sc., Professor, Professor of Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.