

ВИКОРИСТАННЯ СПІЛЬНОТ МІКРООРГАНІЗМІВ ДЛЯ БІОДЕГРАДАЦІЇ ПЛАСТМАСИ

Н.В. Левіт, студент, levit.nelia@icloud.com
Науковий керівник – к.с.-г.н., доцент Галушко І.А.
Миколаївський національний аграрний університет

У статті наведені результати опрацювання досліджень, що стосуються подолання проблеми накопичення пластику шляхом використання спільнот мікроорганізмів як продуцентів ферментів для деполімеризації пластику.

Ключові слова: пластмаса, відходи, співтовариства мікроорганізмів, ферменти, біодеградація, переробка пластику

Постановка проблеми. Світовий ринок пластмаси продовжує зростати завдяки таким її фізичним властивостям та перевагам як невелика питома вага, зниження масової частки харчових відходів за умов використання пластику, довговічність та вартість. Після використання пластику його слід відокремити від решти відходів, щоб піддати найбільш дієвим процесам переробки. Це стає все складніше і неефективніше, наприклад, через неточне виявлення споживачами відповідних видів пластмас для переробки. Деякі види полімерів, такі як полістирол, навіть не можуть бути перероблені, якщо на них є сліди харчових відходів.

Незважаючи на світові зусилля щодо деградації чи переробки пластику, велика кількість сумішей пластмас та інших полімерів потрапляє на сміттєзвалища або використовується для отримання енергії. Ці методи призводять до забруднення навколишнього середовища шляхом вивільнення CO₂ або залишками пластику, які потрапляють до водних потоків та моря, де вони зберігаються і стають токсичними для всього харчового ланцюга. Для стійкої біологічної деградації сумішей пластмас, що піддаються та не піддаються переробці, слід застосовувати нові біотехнологічні підходи [1, с. 80].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ця тема є частиною провідної ініціативи ЄС з Китаєм - «Біотехнології для навколишнього середовища та здоров'я людини», яка сприятиме суттєвому скоординованому та збалансованому співробітництву між ЄС та Китаєм у галузі досліджень та інновацій у рамках робочої програми Horizon 2020.

Постановка завдання. Метою даної роботи було охарактеризувати суміші ферментів, отриманих з використанням спільнот мікроорганізмів, здатних руйнувати суміші пластмас, що не розкладаються та пластмас здатних до біодеградації, на основні хімічні компоненти.

Матеріали і методика. Проведено огляд, аналіз та узагальнення інформації із закордонних джерел.

Результати досліджень. Деградація різних типів пластмас потребує різного набору ферментів [2, с. 132–140]. Більшість пластмас - це поліефіри, біодеструкція яких зазвичай каталізується ферментами, такими як кутінази або естерази [3, с. 73–81]. Також зустрічається протеаза, цільовою молекулою якої є полілактиди (PLA). Процес деградації довгого полімерного ланцюга PLA спершу здійснюється за допомогою деполімерази. У подальшому такі серинові протеази як протеаза К та трипсин, деградують її далі до низькомолекулярних сполук [4, с. 875–881]. Усі вищеперераховані протеази, що руйнують PLA, є результатами життєдіяльності продуцентів-мікроорганізмів, таких як *Amucolatopsis*, *Saccharothrix*, *Pseudonocardia* та ін. Необхідно зазначити, що ці протеази беруть участь лише у деградації PLA. Переважна більшість ферментів здатні розкласти декілька видів пластиків. Наприклад, кутинази здійснюють деградацію таких видів пластмас як полілактиду (PLA), полікапролактону (PCL), поліетилентерефталату відомого як PET та ін. А ліпази здатні до біодеструкції PCL, PLA, PBS (полібутилен сукцинат) тощо (Рис. 1) [8]. Уся різноманітність ферментів задіяна у біодеструкції пластиків, у той час як один вид пластику може піддаватися деструкції за допомогою різних ферментів.

Сукупність мікроорганізмів дозволяє здійснити біодеградацію широкого спектру пластмас.

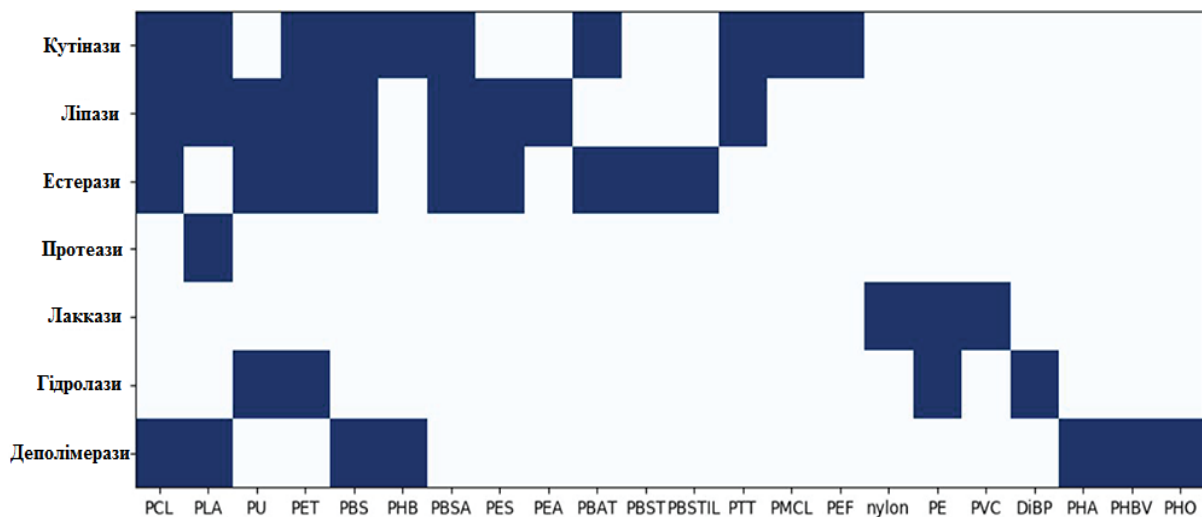


Рис.1 Кореляційний зв'язок між ферментами і пластмасами. Темні блоки вказують на їх взаємодію.

Aspergillus fumigatus, *Pseudomonas fluorescens*, *Penicillium funiculosum* здатні розкласти до простих сполук 10 або більше видів пластмас. *Rhodococcus ruber*, *Comamonas acidovorans* та *Pseudomonas aeruginosa* також демонструють хороші біодеградаційні можливості для більш ніж п'яти видів пластмас. Пластмаси PE (поліетилен), PU (поліуретан) та PHB (полігідроксибутират) можуть бути біодегратовані більш ніж 30 видами мікроорганізмів. А проблему біодеструкції PLA та PCL можна вирішити за допомогою більш ніж 20 видів мікроорганізмів. Однак є мало доказів того, що пластмаси слугують основним джерелом живлення мікроорганізмів [5, с. 1196–1199]. Цілком ймовірно, що

ферментативна деполімеризація синтетичних пластмас є спільним метаболічним процесом, а не основною метою вироблення ферментних сполук.

Хоча було доведено, що багато бактерій беруть участь у біодеградації пластиків, але функціонування даного генетичного механізму ще досконало не вивчено. Поки підтверджено, що за деградацію відповідають лише 79 ферментів. Було проведено кілька досліджень щодо можливих механізмів біодеградаційної діяльності. Більшість із цих механізмів ілюструють стадію розщеплення зв'язків процесу гідролізу. У кількох дослідженнях продемонструвано як ферменти зв'язуються з поверхнями полімерів та як молекули полімерів досягають активних ділянок ферментів [6, 7]. Збільшення гнучкості полімерного ланцюга може збільшити швидкість гідролізу РВАТ (полібутиратадипінтерефталат) за допомогою *Rhizopus oryzae* lipase та *Fusarium solani* cutinase. З іншого боку, ферменти з більш доступними активними ділянками мають вищу активність гідролізу у порівнянні з РВАТ [6, с. 7476–7485]. В інших дослідженнях було показано, що зв'язування кутиназ із зв'язувальним модулем полімерів може посилити гідроліз поліефірного полі 1,4-бутилен адипату, що сприяє кращому зв'язуванню ферменту та полімеру [7, с. 3889–3896].

Висновки і перспективи подальшого дослідження. Використання спільнот мікроорганізмів із набором додаткових ферментів є важливим кроком екологічного та стійкого розвитку в управлінні відходами на основі пластикових сумішей. Ферменти можуть бути природними або розроблені за допомогою сучасних біотехнологій. Мікробні організми перетворюють суміші пластику в хімічні компоненти, що полегшують мінералізацію та компостування токсичних полімерів та здешевлюють виробництво високоцінних продуктів.

Очікувані перспективні шляхи використання спільнот мікроорганізмів:

- комбінація мікроорганізмів з новими або покращеними ферментативними діями, що забезпечують біодеградацію суміші пластмас;
- повне розкладання щонайменше 20 % пластмас, що не розкладаються в пластмасових сумішах за нормальних умов;
- виявлення нових метаболічних шляхів, що призводять до отримання кількох продуктів з високою доданою вартістю, які можуть бути вироблені з пластичних сумішей у майбутньому [1, с. 81].

Список використаних джерел

1. Horizon 2020 - Work Programme 2018-2020 Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing. 2020. Mar 154 p.
2. Rujnic-Sokele, M. and Pilipovic, A. Challenges and opportunities of biodegradable plastics: a mini review. *Waste Manag. Res.* 2017. Feb № 35(2). p. 132 – 140.
3. Bornscheuer, U.T. Microbial carboxyl esterases: classification, properties and application in biocatalysis. *FEMS Microbiol. Rev.* 2002. Mar № 26 (1). p. 73-81.

4. Lim, H.A., Raku, T. and Tokiwa, Y. A new method for the evaluation of biodegradable plastic using coated cellulose paper. *Macromol. Biosci.* 2004. Sep № 16; 4(9). p. 875-881.
5. Yoshida, S., Hiraga, K., Takehana, T. et al. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). *Science.* 2016. Aug № 351(6278). p. 1196-1199.
6. Zumstein, M.T., Rechsteiner, D., Roduner, N. et al. Enzymatic hydrolysis of polyester thin films at the nanoscale: effects of polyester structure and enzyme active-site accessibility. *Environ. Sci. Technol.* 2017. May № 51 (13). p. 7476-7485.
7. Perz, V., Zumstein, M.T., Sander, M. et al. Biomimetic approach to enhance enzymatic hydrolysis of the synthetic polyester poly(1,4-butylene adipate): fusing binding modules to esterases. *Biomacromolecules.* 2015. Nov № 16 (12). p. 3889-3896.
8. PMBD: a Comprehensive Plastics Microbial Biodegradation Database Zhiqiang Gan, Houjin Zhang Database – [Электронный ресурс] – Режим доступа: – <https://doi.org/10.1093/database/baz119>

N. Levit. USE OF COMMUNITY MICRO-ORGANISMS FOR PLASTIC BIODEGRADATION

The article presents the results of research on overcoming the problem of plastic accumulation by using communities of microorganisms as producers of enzymes for depolymerization of plastic.

Key words: plastic, waste, communities of microorganisms, enzymes, biodegradation, plastic processing