

О. О. Іванух¹, І. В. Семенюк², Є. П. Сафонова³, Т. Б. Перетятко^{3,4},
Ю. Я. Мельник¹, В. Й. Скорохода¹

¹ Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра хімічної технології переробки пластмас

² Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії
імені Л. М. Литвиненка Національної академії наук України, м. Львів

³ Львівський національний університет імені Івана Франка, кафедра мікробіології

⁴ Національний антарктичний науковий центр, м. Київ
oleksandr.o.ivanukh@lpnu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ БІОДЕГРАДАЦІЇ ПОЛІГІДРОКСИБУТИРАТУ, ПОЛІЛАКТИДУ І ЇХ СУМІШІ ПІД ДІЄЮ МІКРООРГАНІЗМІВ МЕТОДОМ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ДИФРАКЦІЙНОГО АНАЛІЗУ

<https://doi.org/10.23939/ctas2025.01.184>

Досліджено зміну кристалічної структури полігидроксibuтирату, полілактиду і їх суміші під час біодеградації під дією бактерій і грибів методом рентгенівського дифракційного аналізу. Встановлено, що мікроорганізми спричиняють структурні перетворення в полімерах, які відбуваються без відчутної втрати маси зразків. Рентгеноструктурний аналіз показав, що біодеградація є складним багатофакторним процесом, що залежить від природи полімеру, мікроорганізмів і характеризується мікроструктурними змінами плівкових зразків.

Ключові слова: полігидроксibuтират, полілактид, суміш, гриби, бактерії, біодеградація, кристалічність.

Вступ

Полімерні матеріали та пластмаси стали невід’ємною частиною сучасного життя, проте їхнє всезростаюче та надмірне використання спричинило значні екологічні проблеми, пов’язані з проблемами їх утилізації. Традиційні полімери, такі як поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид, полістирол й інші, характеризуються високою хімічною стійкістю, що робить їх практично нерозкладними в природних умовах. Це призводить до нагромадження використаних полімерних матеріалів у навколишньому середовищі, особливо в ґрунтах і водоймах [1]. Оскільки вторинне перероблення є ефективним лише для обмеженої частини полімерних матеріалів через технічні й економічні обмеження, дедалі більшої уваги набуває розроблення новітніх матеріалів, здатних природно розкладатися під дією мікроорганізмів [2].

Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є використання біодеградабельних полімерів, які можуть розкладатися в природному середовищі, зменшуючи екологічне навантаження. Серед них особливий інтерес викликають полігидроксіалканоати (ПГА) – клас полімерів, які

синтезуються бактеріями. Найвідомішим представником цієї групи є полігидроксibuтират (ПГБ), що має високу біосумісність і здатний до повної деградації в природних умовах [3, 4]. Ще один широко досліджуваний біодеградабельний полімер – полілактид (ПЛА), який отримують із відновлюваної сировини, зокрема з крохмалю [5]. ПГБ і ПЛА мають низку корисних властивостей, що робить їх перспективними для застосування в різних галузях, зокрема в медицині, упаковці та сільському господарстві [6, 7]. Водночас вони мають і певні недоліки, що обмежують їх широке використання в чистому вигляді. Тому для покращення їхніх характеристик активно досліджується можливість створення сумішей і композитів на їхній основі [8–10].

Метод рентгенівського дифракційного аналізу дозволяє дослідити зміни у кристалічній структурі полімерів. Він дозволяє визначати ступінь кристалічності та відстежувати структурні зміни матеріалу під час його деградації. Крім того, РДА дає змогу детально аналізувати вплив мікроорганізмів на молекулярну організацію полімерних ланцюгів, що є ключовим для розуміння механізму

біодеградації [11]. Біодеградація під впливом мікроорганізмів, зокрема бактерій та грибів, є складним процесом, що супроводжується змінами у фізико-хімічних властивостях матеріалу [12]. Ферментативна активність мікроорганізмів спричиняє розщеплення макромолекул, що впливає на кристалічну структуру полімеру. Дослідження свідчать, що біологічний розклад, зазвичай, може зменшувати ступінь кристалічності [13].

Пошук нових мікроорганізмів, здатних ефективно розкладати полімерні матеріали у різних умовах, є актуальним пріоритетом. Особливий інтерес викликає дослідження впливу бактерій, виділених із субстратів Антарктики, які живуть в екстремальних середовищах, що дозволить отримати багатообіцяюче розуміння того, як боротися із забрудненням використаними пластмасами та вдосконалювати технології стійкої біодеградації полімерів.

Отже, дослідження змін кристалічності ПГБ та його суміші з ПЛА під дією бактерій і грибів є важливим кроком до розуміння механізмів біодеградації цих матеріалів. Одержані результати сприятимуть розробці нових біодеградабельних полімерних матеріалів із покращеними експлуатаційними характеристиками та контрольованою деградацією, які є перспективними для екологічних і біомедичних застосувань.

Мета роботи – дослідження дії різних видів бактерій і грибів на ПГБ, ПЛА і їх суміш через аналіз змін у кристалічній структурі за допомогою методу РДА для розуміння механізму процесу біодеградації.

Матеріали та методи досліджень

Для досліджень використано полігідроксипропірат, синтезований у відділенні ФХГК ІнФОВ НАН України з використанням штаму бактерій *Azotobacter vinelandii* N-15; полілактид Nature Works™ марка Ingeo Biopolymer 2500HP; хлороформ кваліфікації “фарм”. Для біодеградації використано 6 видів грибів: *Aspergillus oryzae*, *Penicillium chrysogenum*, *Trichoderma lignorum*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus awamori*, *Trichothecium roseum*; а також 11 видів бактерій: *Paenibacillus tundrae*, *Pseudomonas yamanorum*, *paenarthrobacter* sp., *Pseudoarthrobacter* sp., *Flavobacterium* sp., *Bacillus mesentericus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus cereus*, *Bacillus mycoides*, *Bacillus subtilis*,

Streptomyces griseus; що зберігаються в музеї кафедри мікробіології ЛНУ імені Івана Франка. Штами бактерій *Paenibacillus tundrae* 5A_101, *Pseudomonas yamanorum* 9.9_102, *Paenarthrobacter* sp. 28-in-78, *Pseudoarthrobacter* sp. 2B-K-54, *Flavobacterium* sp. 2B-in-99 були виділені з різних субстратів Антарктики.

Плівки на основі індивідуальних полімерів ПГБ, ПЛА і суміші ПГБ/ПЛА (62:38 % мас.) одержували методом відливання з розчину. Для цього полімери розчиняли у хлороформі із загальною концентрацією 5 % мас. у скляному реакторі, оснащеному зворотним холодильником. Розчинення проводили з використання магнітної мішалки з підігрівом платформи PIBA-05.1 за температури 70 °C при інтенсивному композиції перемішуванні протягом 2 год. Отриманий розчин за допомогою аплікатора NOVOTEST AU-1 наносили на попередньо оброблені етанолом спеціальні скляні пластини. Розчинник випаровували за кімнатної температури протягом 48 год, після чого отримані плівки відокремлювали від підкладки. Товщина плівкових зразків становила 100±10 мкм.

Гриби культивували у середовищі Сабуро, з вмістом глюкози 1 % мас., а бактерії – у фосфатно-сольовому буфері (ФСБ), у колбах Ерленмеєра за температури 28 °C протягом 14 діб. До середовища вносили одностодову культуру мікроорганізмів і наважку плівкового зразка, простерилізованого у чашці Петрі автоклавуванням за 1 атм. Після культивування мінерал відмивали дистильованою водою, плівку висувували за 105 °C протягом 6 год і зважували. Контролем слугували середовища зі зразками без мікроорганізмів.

Для рентгеноструктурного аналізу (AERIS Research (Malvern PANalytical)) використовували подрібнені та перетерті в агатовій ступці зразки плівок. Записували рентгенівські дифрактограми в діапазоні 7–55 (2θ) з кроком 0.022 і часом кроку сканування 24 с. Для визначення ступеня кристалічності зразків, відповідно до отриманих даних, було використано програмне забезпечення OriginPro (OriginLab Corporation). Спектри коригували та згладжували для зменшення шуму за допомогою фільтру Savitzky–Golay [14]. Ступінь кристалічності (C_K) зразків розраховували як відношення сумарної інтегральної площі під кристалічними піками до сумарної інтегральної площі під кривою рентгенівського розсіювання.

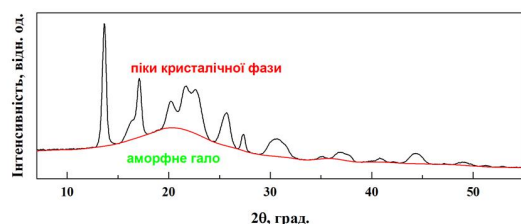


Рис. 1. Приклад дифрактограми з “базовою лінією”, яка розділяє її на піки кристалічної фази й аморфне гало

Для одержання відповідних значень інтегральних площ за допомогою OriginPro на дифрактограмі будували плавну лінію від початку до кінця кривої, а також через основи її піків (рис. 1). Ця лінія ділить криву на кристалічну й аморфну області. Команда “Peak Analyzer” надає результати у вигляді значень інтегральної площі для кристалічних піків та загальної кривої. Значення C_K розраховували за такою формулою [15–17]:

$$C_K = \frac{\Sigma A_c}{\Sigma (A_c + A_a)},$$

де A_c і A_a – інтегральна площа під відповідними кристалічними піками й аморфного гало, відповідно.

Результати досліджень та їх обговорення

Дифрактограми зразків після біодеградації демонструють характерні зміни у кристалічній структурі полімерів, що супроводжується зміною інтенсивності піків. Аналіз отриманих РДА-спектрів дозволяє простежити певні тенденції щодо змін ступеня кристалічності залежно від впливу мікроорганізмів. На їх основі розраховані числові значення ступеня кристалічності для досліджуваних біодеградабельних полімерів (табл. 1).

Таблиця 1

Втрата маси (Δm) і ступінь кристалічності (C_K) ПГБ, ПЛА і їх суміші підданих дії мікроорганізмів

Мікроорганізми	ПГБ		ПЛА		ПГБ/ПЛА	
	Δm , %	C_K , %	Δm , %	C_K , %	Δm , %	C_K , %
Гриби						
Контрольний зразок	3,1	59,0	3,9	46,1	4,9	47,5
<i>Aspergillus awamori</i>	4,8	52,9	5,9	48,4	5,2	44,8
<i>Aspergillus niger</i>	5,7	51,7	6,0	62,3	5,9	38,8
<i>Aspergillus oryzae</i>	5,1	50,4	5,5	56,8	5,1	46,3
<i>Penicillium chrysogenum</i>	4,7	52,9	5,3	55,0	7,8	40,5
<i>Trichoderma lignorum</i>	9,2	54,3	7,4	51,7	5,6	52,2
<i>Trichoderma roseum</i>	6,1	53,2	5,6	64,4	5,9	49,5
Бактерії						
Контрольний зразок	2,4	69,1	5,8	30,0	6,1	32,4
<i>Bacillus cereus</i>	3,0	62,2	5,1	51,7	6,39	32,6
<i>Bacillus mesentericus</i>	8,4	54,3	5,6	36,6	3,6	32,3
<i>Bacillus megaterium</i>	3,1	58,5	6,6	47,4	6,9	32,8
<i>Bacillus mycoides</i>	2,5	62,2	6,8	50,7	5,9	32,8
<i>Bacillus subtilis</i>	4,7	56,1	13,0	45,4	5,4	42,9
<i>Streptomyces griseus</i>	7,5	54,7	5,7	39,0	7,3	31,7
Штами бактерій із субстратів Антарктики						
<i>Flavobacterium sp. 2B-in-99</i>	12,0	48,9	5,7	50,8	5,8	39,5
<i>Paenarthrobacter sp. 28-in-78</i>	6,8	51,5	7,8	46,7	3,1	33,6
<i>Paenibacillus tundrae</i> IMV B-7915	27,1	50,9	6,7	47,6	6,2	36,8
<i>Pseudarthrobacter sp. IMV B-7981</i>	5,2	53,7	7,4	33,3	10,7	34,3
<i>Pseudomonas yamanorum</i> IMV B-7916	7,5	52,0	6,6	41,4	5,1	39,3

Розрахований ступінь кристалічності для контрольного зразка ПГБ, що не піддавався впливу грибів, становить 59 %. Після дії грибкових мікроорганізмів спостерігається зниження цього показника в межах від 51,7 до 54,3 %. При цьому втрата маси полімеру становила від 4,7 до 9,2 % мас. Найінтенсивніше зменшення кристалічності зразків спостерігається під впливом *Aspergillus niger*. На дифракційних кривих зниження ступеня кристалічності відносно контролю відображається зменшенням інтенсивності піків (рис. 2, а). У випадку грибкової біодеградації ПЛА ступінь кристалічності для контрольного зразка становив 46,1 %. Після впливу грибкових мікроорганізмів значення кристалічності збільшилися від 48,4 до 64,5 %, а втрата маси зросла в середньому в 1,5 раза порівняно з контролем. Зокрема, *Trichoderma roseum* і *Aspergillus niger* спричинили значне підвищення кристалічності ПЛА до 64,4 % і 62,3 % відповідно. Це може вказувати на деградацію переважно аморфної частини полімеру, оскільки руйнування аморфних ділянок могло призвести до відносного збільшення частки криста-

лічної фази [18]. На дифрактограмах цей ефект проявляється збільшенням інтенсивності піків відносно контрольного зразка. Подібний ефект спостерігався у зразку, підданому впливу *Aspergillus awamori*, коли ступінь кристалічності становив 48,4 %, а втрата маси – 5,9 %. Це свідчить про певні процеси деградації, які, однак, не призводять до значного руйнування ділянок полімеру. Суміші ПГБ/ПЛА продемонстрували складніші структурні зміни під впливом грибів. Розрахований ступінь кристалічності для контрольного зразку склав 47,6 %. Спостерігалось поступове зниження кристалічності до 38,8 %, хоча ступінь втрати маси змінюється незначно – від 5,1 до 7,8 % мас. У зразках, що піддавали дії *Aspergillus niger* і *Penicillium chrysogenum*, кристалічність знизилася до 38,8 % і 40,5 %, відповідно. Втрата маси для цих зразків є одним із найбільших показників серед усіх досліджених грибів, що становить 5,9 % і 7,8 % мас. відповідно. Як і в випадку ПГБ, зміни в структурі можна спостерігати на дифракційних кривих (рис. 2, б), а саме – зменшення інтенсивності піків.

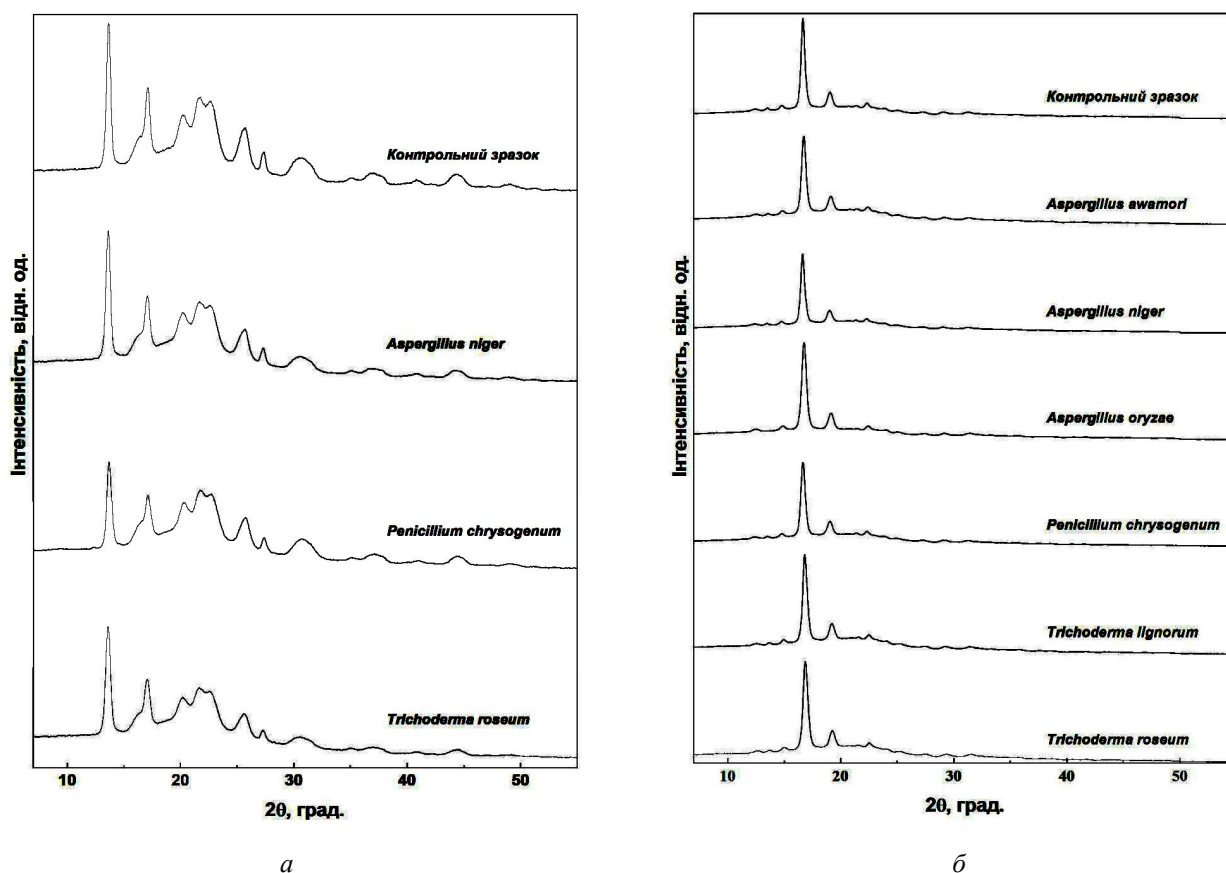


Рис. 2. Дифрактограми зразків ПГБ (а) і ПГБ/ПЛА (б), отримані після біодеградації під дією грибів

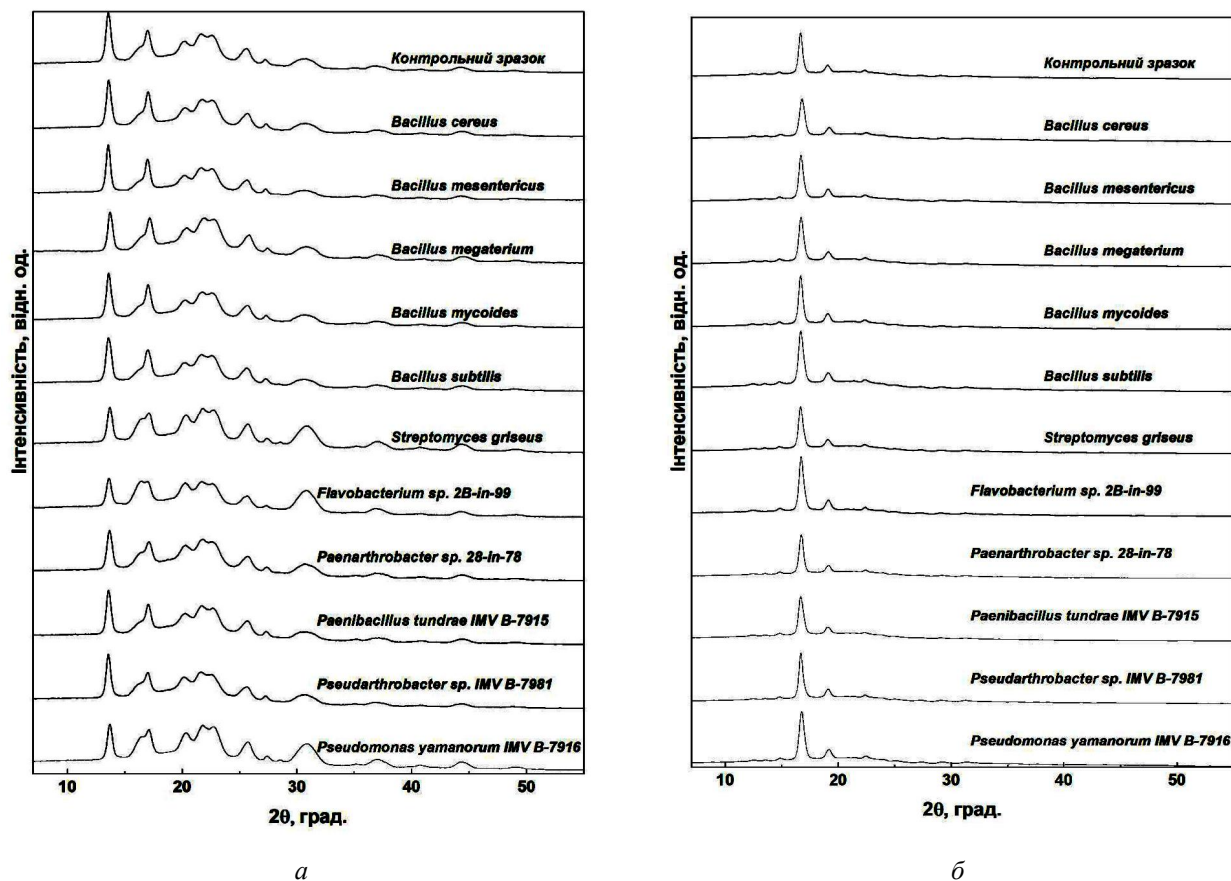


Рис. 3. Дифрактограми зразків ПГБ (а) і ПГБ/ПЛА (б), отримані після біодеградації під дією бактерій

У зразках ПГБ, біодеградованих під дією бактерій, кристалічність коливалася від 48,9 до 62,2 %, тоді як контрольний зразок демонстрував кристалічність 69,1 %. Втрата маси коливалася у ширшому інтервалі (2,5–27,1 % мас.) порівняно з дією грибів. Як і в випадку біодеградації, спричиненої дією грибів, спостерігається тенденція до зниження кристалічності зі збільшенням втрати маси. Найінтенсивніший вплив на ПГБ спричинили штами бактерій *Flavobacterium* і *Paenibacillus tundrae* (табл. 1, рис. 3, а), виділені із субстратів Антарктики, а також *Bacillus mesentericus* і *Streptomyces griseus*. У зразках ПЛА, що деградували під дією бактерій, ступінь кристалічності був в інтервалі 51,7–33,3 %, а для контрольного зразка – 30 %. Для ПЛА, подібно до випадку з грибами, зміни кристалічності не завжди корелюють із втратою маси. Деякі бактерії, зокрема *Bacillus cereus*, *Flavobacterium sp.* і *Paenibacillus tundrae*, сприяли збільшенню кристалічності при мінімальній деградації порівняно з контролем. Це може бути наслідком вибіркової деградації аморфної

фази, що залишає після себе більш організовану кристалічну структуру. Для суміші ПГБ/ПЛА кристалічність коливалася від 31,7 до 42,9 %, а значення для контрольного зразка – 32,4 % (рис. 3, б).

Деградація сумішей ПГБ/ПЛА під дією бактерій не демонструє чіткої кореляції між змінами кристалічності та втратою маси. Деякі штами, наприклад *Streptomyces griseus*, сприяли одночасному зниженню кристалічності та втраті маси; штами *Bacillus subtilis*, *Flavobacterium*, *Paenibacillus tundrae* і *Pseudomonas yamanorum* змінювали лише структурні характеристики без значної деградації полімеру; при дії *Pseudarthrobacter*, ступінь кристалічності зразка незначно збільшився, але при цьому втрата маси збільшилася майже в 2 рази порівняно з контролем. Зміни, зафіксовані у дифрактограмах, свідчать про складні процеси структурної перебудови полімерної матриці під дією мікроорганізмів. Слід зазначити, що навіть у разі відсутності значної втрати маси полімеру, зміни у кристалічності свідчать про потенційні

довготривалі ефекти деградації. Інтенсивність піків ПЛА є значно більшою порівняно з ПГБ, що впливає на числове значення ступеню кристалічності при обрахунку.

Висновки

Встановлено, що дія мікроорганізмів спричиняє значні зміни у кристалічній структурі полігідроксибутирату, полілактиду та суміші ПГБ/ПЛА. Біодеградація ПГБ під дією грибів і бактерій супроводжується зниженням кристалічності, що корелює зі збільшенням втрати маси. Найінтенсивніше зменшення ступеню кристалічності відзначено при впливі *Aspergillus niger* серед грибів, а також бактерій *Flavobacterium sp.* і *Paenibacillus tundrae*, виділених із субстратів Антарктики. Кристалічність ПЛА, навпаки, у більшості випадків залишалася стабільною або навіть зростала, що пояснюється вибірковою деградацією аморфної фази, внаслідок чого відносна частка кристалічної фази збільшувалася. Найвиразніше зростання кристалічності ПЛА зафіксовано під впливом *Trichoderma roseum* та *Aspergillus niger*. Біодеградація суміші ПГБ/ПЛА має складніший характер, ніж для індивідуальних полімерів. Вплив грибів на зразки призводив до поступового зниження кристалічності за мінімальної втрати маси, тоді як бактеріальна деградація не демонструвала чіткої закономірності: деякі штами (*Streptomyces griseus*) сприяли одночасному зниженню кристалічності та втраті маси, тоді як інші (*Bacillus subtilis*, *Flavobacterium sp.*, *Paenibacillus tundrae*, *Pseudomonas yamanorum*) викликали зміни лише у структурі без значної деградації полімерів. Бактерії *Flavobacterium sp.* і *Paenibacillus tundrae* спричиняють значні зміни у структурі ПГБ і суміші ПГБ/ПЛА, що, ймовірно, пов'язано з адаптацією цих мікроорганізмів до екстремальних умов існування, що забезпечує їм унікальні ферментативні властивості та здатні ефективно впливати на біодеградацію полімерів.

Одержані результати підтверджують, що біодеградація ПГБ і ПЛА є складним багаточинним процесом, що залежить від природи полімеру, мікроорганізмів і спричинює мікроструктурні зміни в матеріалах, які можуть бути виявлені за допомогою рентгенівського дифракційного аналізу.

References

1. Rhodes, C. J. (2018). Plastic pollution and potential solutions. *Science Progress*, 101(3), 207–260. <https://doi.org/10.3184/003685018x15294876706211>
2. Omer, N. S. S., & Hassan, N. N. E. (2024). Application of biodegradable plastic and their environmental impacts: A review. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(1), 2139–2148. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.0155>
3. Rajan, K. P., Thomas, S. P., Gopanna, A., & Chavali, M. (2018). Polyhydroxybutyrate (PHB): a standout biopolymer for environmental sustainability. In *Springer eBooks* (p. 1–23). https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1_92-2
4. Semenyuk, I. V., Korets'ka, N. I., Pokyn'broda, T. Ya., Kochubey, V. V., Semenyuk, N. B., Mel'nyk, YU. YA. (2024). Doslidzhennya hidrolitychnoyi dehradatsiyi polihidroksialkanoativ i yikh sumishey z polilaktydamy. *Khimiya, tekhnologiya rechovyn ta yikh zastosuvannya*, 7(1), 237–244. <https://doi.org/10.23939/ctas2024.01.237>
5. Avérous, L. (2008). Polylactic acid: synthesis, properties and applications. In *Elsevier eBooks* (p. 433–450). <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-045316-3.00021-1>
6. Arrieta, M., López, J., López, D., Kenny, J., & Peponi, L. (2015). Development of flexible materials based on plasticized electrospun PLA–PHB blends: Structural, thermal, mechanical and disintegration properties. *European Polymer Journal*, 73, 433–446. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.10.036>
7. Raza, Z. A., Khalil, S., & Abid, S. (2020). Recent progress in development and chemical modification of poly(hydroxybutyrate)-based blends for potential medical applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 160, 77–100. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.114>
8. Zhang, M., & Thomas, N. L. (2011). Blending polylactic acid with polyhydroxybutyrate: The effect on thermal, mechanical, and biodegradation properties. *Advances in Polymer Technology*, 30(2), 67–79. <https://doi.org/10.1002/adv.20235>
9. Semeniuk, I. V., Kocubei, V. V., Skorokhoda, V. Y., Melnyk, Y. Y., Semenyuk, N. B., Koretska, N. I., & Pokynbroda, T. Y. (2022). Temperature and physical-mechanical properties of thermoplastic materials based on polyhydroxybutyrate. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 6, 80–87. DOI: 10.32434/0321-4095-2022-145-6-80-87
10. Semeniuk, I., Kochubei, V., Karpenko, E., Melnyk, Y., Skorokhoda, V., & Semenyuk, N. (2023). Thermal and physico-mechanical properties of biodegradable materials based on polyhydroxyalkanoates. *Polimery*, 67(11–12), 561–566. <https://doi.org/10.14314/polimery.2022.11.3>

11. Chen, Z., Zhang, X., Fu, Y., Jin, Y., Weng, Y., Bian, X., & Chen, X. (2024). Degradation behaviors of polylactic acid, polyglycolic acid, and their copolymer films in simulated marine environments. *Polymers*, 16(13), 1765. <https://doi.org/10.3390/polym16131765>
12. Koh, L. M., & Khor, S. M. (2023). Biodegradation process: basics, factors affecting, and industrial applications. In *Springer eBooks* (p. 19–56). https://doi.org/10.1007/978-3-031-09710-2_66
13. Giraldo-Narcizo, S., Guenani, N., Sánchez-Pérez, A. M., & Guerrero, A. (2022). Accelerated polyethylene terephthalate (PET) enzymatic degradation by room temperature alkali pre-treatment for reduced polymer crystallinity. *Chem.Bio.Chem.*, 24(1). <https://doi.org/10.1002/cbic.202200503>
14. Savitzky, A., & Golay, M. J. E. (1964). Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Analytical Chemistry*, 36(8), 1627–1639. <https://doi.org/10.1021/ac60214a047>
15. Uzun, G., & Aydemir, D. (2017). Biocomposites from polyhydroxybutyrate and bio-fillers by solvent casting method. *Bulletin of Materials Science*, 40(2), 383–393. <https://doi.org/10.1007/s12034-017-1371-7>
16. Rabiej, M. (2003). Application of the genetic algorithms and multiobjective optimization to the resolution of X-Ray diffraction curves of semicrystalline polymers. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 11(5), 83–87.
17. Rabiej, S. (1991). A comparison of two X-ray diffraction procedures for crystallinity determination. *European Polymer Journal*, 27(9), 947–954. [https://doi.org/10.1016/0014-3057\(91\)90038-p](https://doi.org/10.1016/0014-3057(91)90038-p)
18. Kim, J., Gupta, N. S., Bezek, L. B., Linn, J., Bejagam, K. K., Banerjee, S., Dumont, J. H., Nam, S. Y., Kang, H. W., Park, C. H., Pilania, G., Iverson, C. N., Marrone, B. L., & Lee, K. (2023). Biodegradation studies of polyhydroxybutyrate and Polyhydroxybutyrate-co-Polyhydroxyvalerate films in soil. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8), 7638. <https://doi.org/10.3390/ijms24087638>

O. O. Ivanukh¹, I. V. Semeniuk², Y. P. Safonova³,
T. B. Peretyatko^{3,4}, Y. Y. Melnyk¹, V. Y. Skorokhoda¹

¹ Lviv Polytechnic National University, Department of Chemical Technology of Plastics Processing

² Department of Physical Chemistry of Fossil Fuels of the Institute of Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry named after L. M. Lytvynenko of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv

³ Ivan Franko National University of Lviv, Department of Microbiology

⁴ State Institution National Antarctic Scientific Center, Kyiv

STUDY OF THE BIODEGRADATION OF POLYHYDROXYBUTYRATE, POLYLACTIDE, AND THEIR BLEND UNDER THE INFLUENCE OF MICROORGANISMS USING X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS

The changes in the crystal structure of polyhydroxybutyrate, polylactide, and their blends during biodegradation under the influence of bacteria and fungi were studied using X-ray diffraction analysis. It was found that microorganisms induce structural transformations in polymers, which occur without significant mass loss of the samples. X-ray diffraction analysis revealed that biodegradation is a complex multifactorial process that depends on the nature of the polymer and microorganisms and is characterized by microstructural changes in the film samples.

Keywords: polyhydroxybutyrate, polylactide, blend, fungi, bacteria, biodegradation, crystallinity.