

ТОКСИКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ТАРИ ДЛЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ІЗ ВТОРИННОГО ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ

Павлюк С., Суха І., Філінська Т., Філінська А.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна

Анотація. У харчовій промисловості для пакування продукції використовують різні види тари. Вагоме місце займає полімерна тара, яка має низку переваг і зручностей у застосуванні, але як одноразова створює високі екологічні ризики забруднення навколишнього середовища і має токсичну дію на людей. Сучасні тенденції до зниження залежності від одноразової тари спрямовані на використання вторинної полімерної сировини для виробництва пакувальних матеріалів, пляшок та ін. Важливим є визначення показників міграції у досліджувані харчові або модельні середовища ацетальдегіду, ацетону, бутанолу, ізопропанолу, метанолу, етилбензолу, диметилтерефталату та інших токсичних компонентів з тари, яка виготовлена з вторинного поліетилентерефталату.

Ключові слова: поліетилентерефталат, тара, харчові продукти, токсичні речовини.

Вступ Для пакування харчової продукції використовують тару, виготовлену з різноманітної сировини, у тому числі і полімерну, серед якої вагоме місце відводиться поліетилентерефталату (ПЕТ). Виконуються дослідження різних за природою пакувань з метою оцінювання їх негативного впливу на організм людини [1]. Задля зменшення негативного екологічного тиску на довкілля полімерна тара переробляється, у тому числі і для подальшого використання у харчовій галузі. Серед широкого переліку продукції, яку виготовляють з вторинного ПЕТ матеріалу є пляшки харчового призначення. Вони, як й інші види тари слугують потенційним джерелом забруднення, з них у харчові продукти можуть мігрувати шкідливі речовини [2]. Тому актуальним питанням є дослідження безпечності використання полімерних матеріалів, виготовлених з вторинної ПЕТ сировини для пакування харчової продукції на предмет міграції з них токсичних компонентів.

Мета дослідження Тара для харчових продуктів, виготовлена з додаванням відпрацьованих і перероблених ПЕТ пляшок викликає побоювання щодо якості і безпечності пакованого продукту та потребує відповідних досліджень. Для ПЕТ пляшок харчового призначення мають виконуватися

токсикологічні дослідження, визначатися показники міграції хімічних речовин, які виділяються з тари.

Матеріали та методи досліджень Поліетилентерефталат має такі корисні властивості, як низька маса, висока міцність на розрив, прозорість і газонепроникність. Він знаходить широке застосування як пакувальний матеріал у харчовій галузі. При цьому зростає занепокоєння щодо його токсичності і негативного впливу на довкілля. Поглинання ПЕТ людьми викликає низку захворювань. Він може бути розкладений фізичними, хімічними та біологічними методами, його використовують як вторинну сировину для виробництва ПЕТ пляшок.

Не так давно для зберігання мінеральної води і газованих напоїв використовували скляні пляшки, але на сьогодні перевага надається пляшкам з ПЕТ, оскільки скляні пляшки крихкі, важкі і б'ються. Промисловий ринок віддає перевагу ПЕТ-пляшкам для продукції через їх прозорість, міцність і довговічність. Їх практично неможливо розбити, а 40–45 г ПЕТ-пляшки ємністю 1,5 л важать приблизно одну десяту маси скляної пляшки. Вони ефективно використовуються для зберігання фруктових соків, спортивних напоїв, салатних олій, заправок та соусів. Пластикова плівка ПЕТ також використовується як кисневий бар'єр в упаковці харчових продуктів. Для пакування свіжого м'яса та свіжих продуктів використовується широкий асортимент ПЕТ-лотків. Більшість полімерних плівок, що перешкоджають запотіванню, також виготовлені з ПЕТ, що використовується в упаковці харчових продуктів. Останні роки на ринку полімерної упаковки спостерігається стрімке зростання. Слід зазначити, що попит на ПЕТ у харчовій промисловості не зменшиться доти, доки не буде запропонована відповідна альтернатива. Тож розуміння екологічної і токсичної дії ПЕТ та пом'якшення її наслідків для здоров'я людей залишаються важливими і актуальними [3–7].

Нанорозмірні частинки ПЕТ-пластику викликають серйозне занепокоєння щодо потенційних небезпек та ризиків для природи та благополуччя людини. Вплив нанопластику на людину може відбуватися при пероральному вдиханні, ковтанні або асиміляції шкірою у зв'язку з використанням пластикових предметів. Проковтування пластикових наночастинок, ймовірно, буде основним шляхом проникнення, оскільки ці частинки можуть споживатися при вживанні риби або пиття забрудненої води. З іншого боку, поглинання пластику людьми може відбуватися в результаті довільного ковтання, що призводить до гіршого сценарію: шлунково-кишкової непрохідності, психічних захворювань, астми, алергії та хронічної пневмонії. Мікропластик складається з добавок та мономерів, які, порушують роботу ендокринної системи. Навіть у зразку кала людини було виявлено розмір частинок ПЕТ

від 50 до 500 мкм. Перероблений ПЕТ містить каталізатори важких металів, серед яких найбільш поширеною є сурма. Вона вважається можливим канцерогенним агентом в людському організмі. При тривалому контакті харчового продукту (напою) з ПЕТ тарою, збільшується ймовірність потрапляння сурми, що призводить до дерматитів, подразнення дихальних шляхів, змін електрокардіограми, гастриту у людини. Стабільність переробленого пластику нижча, ніж у первинного пластику, що робить його важливим джерелом забруднення [8–13].

Виконані дослідження щодо міграції токсичних речовин у різні харчові продукти, паковані у ПЕТ пляшки, виготовлені з вторинної сировини (виробник ТОВ «ПРО П. Е.Т.») [14]. Визначення вмісту токсичних речовин в зразках виконувалися за відповідними методиками [15–19] і порівнювалися з гігієнічними нормативами [20,21].

Результати та їх обговорення На підставі проведених досліджень визначені рівні міграції токсичних речовин з ПЕТ пляшок, виготовлених з вторинної сировини, у різні харчові середовища – молоко, розчини спирту, за концентрацією подібні до алкогольних і слабоалкогольних напоїв, а також у водні розчини оцтової і молочної кислот різних концентрацій. Визначено, що показники міграції з тари у досліджувані середовища ацетальдегіду, ацетону, бутанолу, ізопропанолу, метанолу, етилбензолу, диметилтерефталату та інших токсичних компонентів відповідають встановленим гігієнічним нормативам і не перевищують допустимої кількості міграції.

Висновки та перспективи Пляшки, виготовлені повністю з вторинної сировини, відповідають вимогам до тари, що контактує з харчовими продуктами, і можуть бути рекомендовані для пакування досліджуваних типів продукції. Враховуючи те, що харчові продукти являють собою складні, багатокомпонентні системи, в яких у процесі зберігання відбуваються певні перетворення, виконання аналогічних дослідних робіт потребує продовження і розширення переліку досліджуваних харчових середовищ.

Залишається відкритим питання щодо міграції з ПЕТ тари олігомерів. Основна проблема щодо останніх полягає в тому, що їхня хімічна приналежність, рівень міграції та токсикологічні властивості часто невідомі. А у випадку виготовлення ПЕТ тари з вторинної сировини виникають і додаткові питання щодо кратності її перероблення та які термоокислювальні реакції уже пройшли і які небезпечні речовини можуть виділятися з вторинної ПЕТ тари.

В нормативних документах ЄС, підхід до визначення міграції інакший, чим був у вітчизняних санітарних нормах. Альтернативна стратегія полягає у використанні концепції межі токсикологічної небезпеки (ТТС) для оцінювання значень безпеки для олігомерів ПЕТ невідомої токсичності. В рамках концепції ТТС попередні дослідження класифікували лінійні

олігомери ПЕТ як речовини з добовою межею впливу 30 мкг/кг маси тіла, а циклічні олігомери – з межею впливу 1,5 / кг маси тіла.

В рамках інтеграції національного законодавства до стандартів Європейського Союзу 03 листопада 2021 р. ухвалено Закон України «Про матеріали і предмети, що призначені для контакту з харчовими продуктами». Джерелом даного Закону були законодавчі акти Європейського Союзу, які регулюють вказану сферу. Сьогодні європейське законодавство в питаннях безпечності пакувальних матеріалів та регулювання впливу пакувальних матеріалів на навколишнє середовище є безперечним світовим лідером. Тож нагальним і вкрай важливим є прийняття в Україні цієї спадщини, введення в дію прийнятого Закону і розроблення відповідних нормативних документів та інструкцій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горцева Л. В., Шутова Т. В., Мартинова О. С., Завальна В. В., Костюченко Т. П. Оцінка ризиків для здоров'я людини пакувальних матеріалів для харчових продуктів і шляхи їх запобігання. *Український журнал сучасних проблем токсикології*. 2018. № 4 (84). С. 59–62. <http://dx.doi.org/10.33273/2663-4570-2018-84-4-59-62>.
2. Іванішена Т. В., Іванішина О. О. Порівняльний аналіз безпечності пакувальних матеріалів для харчової промисловості. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2019. № 5. С. 142–146.
3. Alvarado Chacon F, Brouwer MT, Thoden van Velzen EU. Effect of recycled content and rPET quality on the properties of PET bottles, part I: optical and mechanical properties. *PackagTechnol Sci*. 2020. № 33. P. 347–357. doi: 10.1002/pts.2490.
4. Li-Na J. Study on preparation process and properties of polyethylene terephthalate (pet). *Appl Mech Mater*. 2013. № 312. P. 406–410. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.312.406.
5. Gaikwad K. K., Singh S., Lee Y. S. Oxygen scavenging films in food packaging. *Environ Chem Lett*. 2018. № 16. P. 523–538. doi: 10.1007/s10311-018-0705-z.
6. Gaikwad K. K., Singh S., Aiji A. Moisture absorbers for food packaging applications. *Environ Chem Lett*. 2019. № 17. P. 609–628. doi: 10.1007/s10311-018-0810-z.
7. Gaikwad K. K., Singh S., Negi Y. S. Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce. *Environ Chem Lett*. 2020. № 18. P. 269–284. doi: 10.1007/s10311-019-00938-1.
8. Prata J. C. Airborne microplastics: consequences to human health? *Environ Pollut*. 2018. № 234. P. 115–126. doi: 10.1016/j.envpol.2017.11.043.
9. Yaka M., Ehirchiou A., Alkandry T. T. S., Sair K. Huge plastic bezoar: a rare cause of gastrointestinal obstruction. *Pan Afr Med J*. 2015. № 21. P. 1–5. doi: 10.11604/pamj.2015.21.286.7169.
10. Vethaak A. D., Leslie H. A. Plastic debris is a human health issue. *Environ Sci Technol*. 2016. № 50. P. 6825–6826. doi: 10.1021/acs.est.6b02569.
11. Othman A. R., Hasan H. A., Muhamad M. H. et al. Microbial degradation of microplastics by enzymatic processes: a review. *Environ Chem Lett*. 2021. № 19. P. 3057–3073. doi: 10.1007/s10311-021-01197-9.

12. Schwabl P., Koppel S., Konigshofer P. et al. Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Ann Intern Med.* 2019. № 171. P. 453–457. doi: 10.7326/M19-0618.

13. Whitt M., Brown W., Danes J. E., Vorst K. L. Migration of heavy metals from recycled polyethylene terephthalate during storage and microwave heating. *J Plast Film Sheeting.* 2016. № 32. P. 189–207. doi: 10.1177/8756087915590190.

14. ТУ У 22.2-45123779-001:2023. Преформи та пляшки полімерні марки ПЕТФ.

15. ДСТУ EN 14082:2019 Продукти харчові. Визначення вмісту свинцю, кадмію, цинку, міді, заліза та хрому методом атомно-абсорбційної спектроскопії (AAS) після сухого озолення (EN 14082:2003, IDT).

16. Визначення вмісту ртуті в об'єктах виробничого, навколишнього середовища і біологічних матеріалах. МВ 10.1-115-2005. Київ : 2005. 48 с.

17. МУ 5178-90 «Методические указания по обнаружению и определению содержания общей ртути в пищевых продуктах методом беспламенной атомной абсорбции». М.: 1990 г.

18. МУК 4.1.3166-14 Газохроматографическое определение гексана, гептана, ацетальдегида, ацетона, метилацетата, этилацетата, метанола, изопропанола, акрилонитрила, н-пропанола, н-пропилацетата, бутилацетата, изобутанола, н-бутанола, бензола, толуола, этилбензола, м-, о- и п-ксилолов, изопропилбензола, стирола, α-метилстирола в воде и водных вытяжках из материалов различного состава: Методические указания.

19. ISO 8288. Определение кобальта, никеля, меди, цинка, кадмия и свинца. 1987, 18 с.

20. Наказ МОЗ України «Про затвердження гігієнічних нормативів якості оди, водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення» № 721 від 02.05.2022 р.

21. СанПиН 42-123-4240-86 «Допустимые количества миграции (ДКМ) химических веществ, выделяющихся из полимерных и других материалов, контактирующих с пищевыми продуктами и методы их определения».

REFERENCES

1. Hortseva L. V., Shutova T. V., Martynova O. S., Zavalna V. V., Kostiuhenko T. P. Otsinka ryzykiv dlia zdorovia liudyny pakuvalnykh materialiv dlia kharchovykh produktiv i shliakhy yikh zapobihannia. *Ukrainskyi zhurnal suchasnykh problem toksykologii.* 2018;4(84):59–62. <http://dx.doi.org/10.33273/2663-4570-2018-84-4-59-62> [in Ukrainian].

2. Ivanishena T. V., Ivanishyna O. O. Porivnialnyi analiz bezpechnosti pakuvalnykh materialiv dlia kharchovoi promyslovosti. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky.* 2019;142–146 [in Ukrainian].

3. Alvarado Chacon F, Brouwer MT, Thoden van Velzen EU. Effect of recycled content and rPET quality on the properties of PET bottles, part I: optical and mechanical properties. *Packag Technol Sci.* 2020;33:347–357. doi: 10.1002/pts.2490.

4. Li-Na J. Study on preparation process and properties of polyethylene terephthalate (pet). *Appl Mech Mater.* 2013;312:406–410. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.312.406.

5. Gaikwad K. K., Singh S., Lee Y. S. Oxygen scavenging films in food packaging. *Environ Chem Lett.* 2018;16:523–538. doi: 10.1007/s10311-018-0705-z.

6. Gaikwad K. K., Singh S., Aji A. Moisture absorbers for food packaging applications. *Environ Chem Lett.* 2019;17:609–628. doi: 10.1007/s10311-018-0810-z.
7. Gaikwad K. K., Singh S., Negi Y. S. Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce. *Environ Chem Lett.* 2020;18:269–284. doi: 10.1007/s10311-019-00938-1.
8. Prata J. C. Airborne microplastics: consequences to human health? *Environ Pollut.* 2018;234:115–126. doi: 10.1016/j.envpol.2017.11.043.
9. Yaka M., Ehirciou A., Alkandry T. T. S., Sair K. Huge plastic bezoar: a rare cause of gastrointestinal obstruction. *Pan Afr Med J.* 2015;21:1–5. doi: 10.11604/pamj.2015.21.286.7169.
10. Vethaak AD, Leslie HA. Plastic debris is a human health issue. *Environ Sci Technol.* 2016;50:6825–6826. doi: 10.1021/acs.est.6b02569.
11. Othman A. R., Hasan H. A., Muhamad M. H., et al. Microbial degradation of microplastics by enzymatic processes: a review. *Environ Chem Lett.* 2021;19:3057–3073. doi: 10.1007/s10311-021-01197-9.
12. Schwabl P., Koppel S., Konigshofer P. et al. Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Ann Intern Med.* 2019;171:453–457. doi: 10.7326/M19-0618.
13. Whitt M, Brown W, Danes JE, Vorst KL. Migration of heavy metals from recycled polyethylene terephthalate during storage and microwave heating. *J Plast Film Sheeting.* 2016;32:189–207. doi: 10.1177/8756087915590190.
14. TU U 22.2-45123779-001:2023. Preformy ta pliashky polimerni marky PETF [PET polymer preforms and bottles] [in Ukrainian].
15. DSTU EN 14082:2019 Produkty kharchovi. Vyznachennia vmistu svyntsiu, kadmiu, tsynku, midi, zaliza ta khromu metodom atomno-absorbtsiinoi spektrometrii (AAS) pislia sukhoho ozolennia [Food products. Determination of the content of lead, cadmium, zinc, copper, iron and chromium by the method of atomic absorption spectrometry (AAS) after dry ashing](EN 14082:2003, IDT) [in Ukrainian].
16. Vyznachennia vmistu rtuti v ob'ekтах vyrobnychoho, navkolyshnoho seredovyscha i biolohichnykh materialakh [Determination of mercury content in industrial objects, environment and biological materials]. MV 10.1-115-2005. K: 2005. 48 s. [in Ukrainian].
17. MU 5178-90 “Metodicheskie ukazaniya po obnaruzheniyu i opredeleniyu soderzhaniya obshchei rtuti v pishchevikh produktakh metodom besplamennoi atomnoi absorbtsii” [Methodical guidelines for the detection and determination of total mercury content in food products by the flameless atomic absorption method]. M. : 1990 g.
18. MUK 4.1.3166-14 Gazokhromatograficheskoe opredelenie geksana, geptana, atsetaldegida, atsetona, metilatsetata, etilatsetata, metanola, izopropanola, akrilnitrila, n-propanola, n-propilatsetata, butilatsetata, izobutanola, n-butanola, benzola, toluola, etilbenzola, m-, o- i p-ksilolov, izopropilbenzola, stirola, α -metilstirola v vode i vodnikh vityazhkakh iz materialov razlichnogo sostava: Metodicheskie ukazaniya. [Gas chromatographic determination of hexane, heptane, acetaldehyde, acetone, methyl acetate, ethyl acetate, methanol, isopropanol, acrylonitrile, n-propanol, n-propyl acetate, butyl acetate, isobutanol, n-butanol, benzene, toluene, ethylbenzene, m-, o- and n-xylene, isopropylbenzene, styrene, α -methylstyrene in water and aqueous extracts from materials of different composition: Methodical instructions].

19. ISO 8288. Opredelenie kobalta, nikelya, medi, tsinka, kadmiya i svintsya. [Determination of cobalt, nickel, copper, zinc, cadmium and lead.]. 1987;18.

20. Nakaz MOZ Ukrainy "Pro zatverdzhennia hihiiienichnykh normatyviv yakosti ody, vodnykh ob'ektiv dlia zadovolennia pytnykh, hospodarsko-pobutovykh ta inshykh potrebnaselennia" [Order of the Ministry of Health of Ukraine "On the approval of hygienic standards for the quality of water, water bodies to meet the drinking, household and other needs of the population"]. № 721 vid 02.05.2022 r. [in Ukrainian].

21. SanPiN 42-123-4240-86 "Dopustimie kolichestva migratsii (DKM) khimicheskikh veshchestv, videlyayushchikhsya iz polimernikh i drugikh materialov, kontaktiruyushchikh s pishchevimi produktami i metodi ikh opredeleniya" [SanPiN 42-123-4240-86 "Permissible amounts of migration (AQM) of chemical substances released from polymeric and other materials in contact with food products and methods for their determination"].

TOXICOLOGICAL RISKS ASSOCIATED WITH USING PACKAGING FOR FOOD PRODUCTS MADE FROM RECYCLED POLYETHYLENE TEREPHTHALATE

Pavliuk S., Sukha I., Filinska T., Filinska A.

***Abstract.** In the food industry, various types of containers are used for product packaging. An important place is occupied by polymer packaging, which has a number of advantages and conveniences in use, but as a disposable product it creates high environmental risks of environmental pollution and has a toxic effect on people. Modern trends to reduce dependence on single-use containers are aimed at the use of secondary polymer raw materials for the production of packaging materials, bottles, etc. It is important to determine the migration rates of acetaldehyde, acetone, butanol, isopropanol, methanol, ethylbenzene, dimethyl terephthalate and other toxic components from containers made of secondary polyethylene terephthalate into the studied food or model environments.*

***Key words:** polyethylene terephthalate, packaging, food products, toxic substances.*

Павлюк Сергій Климович. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7615-963X>,

+38 067 612 10 04, serpik07@ukr.net

Су́ха І. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5579-2047>

Філі́нська Т. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5579-2047>

Філі́нська А. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5579-2047>