



О. Т. Мазурак, А. В. Мазурак, Н. В. Качмар, Г. А. Лисак

Львівський національний аграрний університет, м. Львів, Україна

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

Описано результати досліджень шляхів екологічної утилізації органічних відходів. Представлено процеси, які призводять до утворення надтоксичних забруднювальних речовин (низки діоксинів і фуранів, важких металів) та шляхи емісії цих небезпечних полутантів у довкілля. Виділено основні джерела надходження діоксинів у навколишнє середовище: термічна утилізація відходів; процеси виробництва хлороорганічних сполук; біогенні процеси під час компостування відходів; тривале зберігання відходів хлороорганічної природи у сховищах і звалищах. Виділено низку методів зниження рівня забруднення навколишнього середовища та механізми мінімізації впливу токсикантів.

Потенційні можливості спричинити забруднення довкілля або піддати його впливу надтоксичних діоксинів значною мірою залежить від того, що відбувається з відходами і яким чином їх утилізують. Зокрема, ефективне високотемпературне спалювання забруднених відходів за високого ступеня очищення може значною мірою знижувати практично всі наявні в них діоксини, тоді ж як захоронення таких відходів може призвести до створення вторинного джерела забруднення. З'ясовано особливості, переваги та недоліки компостування як методу, що дає змогу мінімізувати об'єм відходів, підвищити родючість ґрунту, вміст гумусу у ньому, збагатити його на поживні речовини, а також зменшити деградаційні процеси.

Ключові слова: діоксини; ксенобіотики; важкі метали; забруднення; токсичність; компостування.

Вступ. Термічна утилізація відходів, як і їх складування на полігонах ТПВ, створює серйозні екологічні проблеми: нагромадження та неповне знищення горючих відходів сміттєспалювання, складність і нерентабельність процесу утилізації, токсичність певних відходів та утворення канцерогенних речовин (сажа, діоксини, інші поліциклічні ароматичні вуглеводні, важкі метали). Тому виникає нагальна потреба дослідити можливості безпечного рециклінгу відходів, зокрема з органічним складником, та шляхів їх раціональної утилізації із врахуванням мінімізації факторів екологічної небезпеки.

Виклад основного матеріалу. Унаслідок антропогенезу щорічно в природне довкілля потрапляє кілька тонн стійких органічних забруднювачів – канцерогенних діоксинів та інших токсичних діоксиноподібних сполук.

Одним з основних джерел діоксинів і фуранів, за висновками "International Best Practices for PreProcessing and Co-Processing Municipal Solid Waste and Sewage Sludge in the Cement Industry", вважають процеси неконтрольованого спалювання відходів, однак умови, джерела та шляхи знешкодження діоксинів вивчають до сьогодні.

Найбільш токсичним, згідно з дослідженнями "Directive 2000/76/ec of the European parliament and of the council of 4 December 2000 on the incineration of waste", вважають 2,3,7,8-тетрахлордibenзо-пара-діоксин (ТХДД), відносна токсичність якого дорівнює 1. Високу токсичність, що дорівнює токсичності ТХДД, має ще один клас сполук хлоромісних ксенобіотиків, виявлених у викидах сміттєспалювальних заводів і стоках целюлозно-паперових виробництв, – поліхлоровані дибензотіофени (Mazurak, et al., 2011).

Встановлено, що харчовий ланцюг є основним шляхом надходження діоксинів і фуранів у організм людини (у 500-1000 разів перевищує їх надходження з повітря), тоді як з атмосферним повітрям надходить тільки близько 1-5 %. Причому основним джерелом діоксиноподібних ксенобіотиків у організм людини є продукти тваринного походження, що переважають надходження з рослинними продуктами у 10 разів. Серед тваринних продуктів найбільше поліхлорованих дибензо-пара-діоксинів (ПХДД) та поліхлорованих дибензофуранів (ПХДФ) виявлено у рибі та рибних продуктах. В організмі ж наземних тварин ТХДД нагромаджується переважно у молоці та у м'ясі (Talandysz, 1988).

Окрім харчового ланцюга можна виділити такі джерела надходження діоксинів. По-перше, процеси виробництва хімічної продукції, наприклад, виробництво хлорованих фенолів і оксихлорування змішаної сировини для виробництва деяких хлорованих розчинників, а також виробництво целюлози і паперу. Надходження діоксинів у цьому випадку можна контролювати шляхом зміни технології самого процесу або ж заміщенням продуктів виробництва. По-друге, термічні процеси і процеси спалювання. Більшість дослідників вважають, що основний механізм утворення ПХДД/ПХДФ у процесі спалювання пов'язаний із заміною радикалів, циклізацією й ароматизацією молекул до температури 600 °С, конденсацією попередників ПХДД/ПХДФ, і вільнорадикальними реакціями, що відбуваються на поверхні золи-винесення (*de novo synthesis*) за температури понад 300 °С (Mazurak, et al., 2011).

Під час нормування та досліджень джерел утворення діоксинів вказують конкретні умови їх утворення. Згідно з вимогами "BAT/BER – Best Available Techniq-

Цитування за ДСТУ: Мазурак О. Т., Мазурак А. В., Качмар В. Н., Лисак А. Г. Екологічні аспекти утилізації органічних відходів.

Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(4). С. 100–102.

Citation APA: Mazurak, O. T., Mazurak, A. V., Kachmar, V. N., & Lusak, A. G. (2017). Environmental Aspects of Organic Waste Recycling. Scientific Bulletin of UNFU, 27(4), 100–102. <https://doi.org/10.15421/40270422>

ues/Best Environmental Practices" для контролю ПХДД/ПХДФ в димових газах промислових об'єктів термічної утилізації відходів вміст ПХДД/ПХДФ не повинен перевищувати $0,1 \text{ ng TE/m}^3$ за нормальних умов (237 K , $101,3 \text{ kPa}$, $10 \% \text{ O}_2$). Для знищення діоксинів використовують каталітичне дехлорування і спалювання за температури $>1200^\circ\text{C}$. Ці методи потребують спрямованих контрольованих умов, задля уникнення утворення токсичних сполук унаслідок реакцій, таких як димеризація і реконденсація в зоні охолодження печі (Mazurak, et al., 2011).

До третього типу джерел можна віднести біогенні процеси, за яких з первинного матеріалу можуть утворюватись діоксини, оскільки досліджено подібні процеси, які відбуваються в компості (Makles, Switkowski & Grybowska, 2001; Grueneklee, Moll & Kern, 1993). Водночас, одним із природних способів руйнування діоксинів є вплив мікроорганізмів, наприклад типу *Arthrobacter*, які розщеплюють вуглеводневі кільця цих надтоксичних сполук. Встановлено також, що деякі гриби, наприклад *Phanerochaete chrysosporium* (збудники "білої гнилі"), в аеробних умовах розкладають ТХДД без шкоди для себе. Для очищення ґрунтів, забруднених ароматичними ксенобіотиками, також доцільно використовувати фіторемедіацію. Так, вітчизняні науковці (Slobodeniuk, 2008) встановили, що рослини родини кабачкових (*Cucurbitaceae*) рекомендовано використовувати для фіторемедіації забруднених хлорорганічними пестицидами ґрунтів, а вирощену фітомасу потрібно утилізувати шляхом анаеробного розкладання (Labres, et al., 1998).

До четвертої групи джерел надходження діоксинів належать забуті сховища хімічних відходів, гербіцидів, інших хлорорганічних сполук, закинуті звалища, а також ґрунти і відклади, в яких протягом тривалого часу акумулювалися діоксини. У ґрунті, багатому на сполуки, що є джерелом водню, з огляду на фізичний стан, структуру і присутність ліпідofilних сполук у першій фазі діоксини підлягають розчиненню з подальшим просуванням в глибші шари ґрунту, що значно погіршує процес фотолітичного розпаду.

Отже, за відповідного контролювання органічних відходів на вміст токсикантів, можна застосовувати метод компостування (особливо для власників приватних помешкань із ділянкою землі для облаштування компостної ями), що дає змогу мінімізувати об'єм відходів та підвищити родючість ґрунту, вміст гумусу у ньому, збагатити його на поживні речовини, зменшити або послабити деградаційні процеси ґрунту (вивітрювання, ущільнення, засолювання, запливання та вимивання цінних органічних та мінеральних речовин з поверхні).

Загалом, тверді органічні відходи науковці вважають джерелом вуглецю, який сприяє зв'язуванню азоту та фосфору в стічних водах, або взагалі є джерелом азоту та фосфору, що визначають, наприклад, методом аероліфтного біореактора (Veltof, et al., 1998). Зазначений метод допомагає зрозуміти можливості органічних відходів у постачанні азоту та фосфору для живлення рослин швидше, ніж конвективний реактор або тести з рослинами, наприклад з житом (Veltof, et al., 1998). Дослідження компосту показали, що міський компост (Labres, et al., 1998) поступається за якістю компосту з периферії, оскільки містить більше важких металів (токсичних кадмію та свинцю). Дослідження також доводять, що вологіший компост губить більше поживних

речовин у процесі дозрівання, ніж сухий (Westing, 1984). Це стосується і важких металів: вологий компост втрачає 2 %, а сухий – 0,1 % важких металів, що відбувається внаслідок вилуговування останніх у ґрунт. Тому приготування компостів потрібно здійснювати в умовах, що запобігають їх вилуговуванню (водонепроникна основа компостної ями та ємності для дощових стоків з компосту).

Компост з міських відходів ретельно досліджували науковці на предмет взаємодії "компост – ґрунт – рослина": збагачений перегноем компост, згідно з дослідними даними (Gurta, et al., 1994), підвищував вміст сухої речовини, азоту в рослині та вміст азоту в ґрунті пропорційно до кількості внесеного органічного добрива. Збагачений перегноем компост з міських відходів є джерелом нітрогену в живленні рослин і біологічно активним компонентом у ґрунті екосистеми. Так, позитивними були дослідження ґрунтів під соснами через 10 років після удобрення їх компостом з органічних міських відходів: зафіксовано збільшення вмісту нітрогену в ґрунті й голках дерев та відповідне подальше збільшення росту рослини (Grueneklee, Moll & Kern, 1993).

Під час виготовлення та використання компосту з відходів тваринництва потрібно звертати увагу на вміст важких металів, навіть у сільській місцевості, оскільки птиця та свині для повноти споживання та засвоєння кормів отримують додатково хімічні елементи у добавках (купрум, кадмій, цинк, кобальт, арсен, манган, ферум та селен) (Han, et al., 2000; Barbro, 1997), однак при цьому може бути токсичним для рослин і навіть посилювати акумуляцію небезпечних елементів.

Встановлено, що технології перероблення органіки на біогаз дають змогу використовувати до 30 % від загального об'єму загрузки метантенків твердими міськими відходами, однак при цьому важливо, щоб вміст важких металів не переважав рівнів токсичності для розвитку метанових бактерій.

Цікавою є модель формування гумусових сполук у процесі біокондиціонування органічних відходів та отримання комплексних органо-мінеральних добрив. Згідно з концептуальною моделлю, опрацьованою в ННЦ "Інституті ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського", на початкових стадіях процесів гуміфікації під впливом мікробіоти органічні сполуки розкладаються й утворюються як продукти повної мінералізації – CO_2 і H_2O , так і напіврозкладу – органічні кислоти, амінокислоти тощо. Під час біокондиціонування органічних відходів важливі функції виконують активна поверхня будь-якого походження (глинисті матеріали, колоїди гідроксидів алюмінію та феруму, стійкі форми органічних речовин) і оптимальне співвідношення між вуглецем і азотом. Внаслідок зазначених процесів підвищується продуктивність ланок сівозмін на 25–40 %, покращується родючість ґрунтів і якість продукції.

Висновки. Будь-яке використання компостів, біовідходів, як і ґрунтів потребують ретельного пролонгованого аналізу на вміст токсикантів. Токсикологічна оцінка поллютантів повинна визначати можливість нагромадження цих мікрокомпонентів у середовищі та специфічність їхньої дії на умови проживання організмів в екосистемі.

В умовах сучасного, забрудненого відходами, токсикантами навколишнього середовища, вивчення їх впливу, умов утворення, взаємодії між собою та методів

знешкодження, екологічно прийнятної утилізації є актуальними і потребують подальших активних досліджень.

Перелік використаних джерел

- Barbro, U. (1997). Leaching of plant nutrients and heavy metals during the composting of household and chemical characterization of the final product. *Acta Agric. Scand., Sect. B.*, 47(3), 142–148.
- Grueneklee, C. E., Moll, W., & Kern, K. G. (1993). Nitrogen status of a Scots pine site 10 years after fertilization with composted municipal waste. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.*, 156(1), 39–44.
- Gupta, S. C., Namdeo, S. L., Pawar, K. S., & Nema, D. P. (1994). Effect of organic manures and rhizobium inoculant on symbiotic traits, nutrient content, quality and yield of black gram. *Orient. J. Chem.*, 10(2), 114–118.
- Han, F. X., Kingery, W. L., Selim, H. M., & Gerard, P. D. (2000). Accumulation of heavy metals in long-term poultry waste amended soil. *Soil Science*, 165(3), 123–128.
- Labres, P. L., Pavan, P., Battistioni, P. et al. (1998). The use of organic fraction of municipal solid waste hydrolysis products for bi-

ological nutrient removal in wastewater treatment plants. *Water Res.*, 33(1), 214–222.

Makles, Z., Switkowski, A., & Grybowska, S. (2001). *Niebezpieczne dioksyny*. Warszawa: Arkady, 244 p.

Mazurak, O. T., Shkymbatiuk, R. S., Lozovitska, T. M., & Khruyuk, S. Yu. (2011). Study of the mechanisms the pollution of the biosphere dioxins. *Scientific Bulletin of UNFU*, 21(12), 122–127. Retrieved from:

http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2011/21_12/122_Maz.pdf

Slobodeniuk, O. A. (2008). Akumulivannia DDT orhanamy Cucurbita pepo. *Ahroekolohichniy zhurnal*, 3, 81–83. [in Ukrainian].

Talandysz, J. (1988). Oszacowanie spozycia polichlorowanych dwufenyli w rybach w Polsce. *Rosz. Panst. Zakl. Hig.*, 39(6), 450–453.

Veltof, G. L., Bensichem, M. L., Rajmakers, W. M. F., & Janssen, B. H. (1998). Assessment of plant available nutrients in organic products using an airlift bioreactor. *J. Environ. Qual.*, 27(5), 1261–1267.

Westing, A. H. (Ed.) (1984). *Herbicides in War: The Long-Term Ecological and Human Consequences*; SIPRI Stockholm. Florence, Kentucky, U.S.A.: Taylor, & Francis, 210 p.

О. Т. Мазурак, А. В. Мазурак, Н. В. Качмар, Г. А. Лысак

Львовский национальный аграрный университет, г. Львов, Украина

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УТИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Описаны результаты исследований путей экологической утилизации органических отходов. Представлены процессы, которые приводят к образованию надтоксичных загрязняющих веществ (ряда диоксинов и фуранов, тяжелых металлов) и пути эмиссии этих опасных поллютантов в окружающую среду. Выделены основные источники поступления диоксинов в окружающую среду: термическая утилизация отходов; процессы производства хлорорганических соединений; биогенные процессы при компостировании отходов; длительное хранение хлорорганических отходов на хранилищах и свалках. Выделен ряд методов снижения уровня загрязнения окружающей среды и механизмы минимизации влияния токсикантов. Потенциальные возможности вызвать загрязнение окружающей среды или подвергнуть его влиянию надтоксичных диоксинов в значительной степени зависит от того, что происходит с отходами и каким образом их утилизируют. В частности, эффективное высокотемпературное сжигание загрязненных отходов при высокой степени очистки может существенно уничтожать практически все имеющиеся в них диоксины, тогда как захоронение таких отходов может привести к созданию вторичного источника загрязнения.

Показаны особенности, преимущества и недостатки компостирования как метода, что дает возможность минимизировать количество отходов, повысить плодородие почвы, содержание гумуса в нем, обогатить его питательными веществами, а также уменьшить процессы деградации.

Ключевые слова: диоксины; ксенобиотики; тяжелые металлы; загрязнения; токсичность; компостирование.

O. T. Mazurak, A. V. Mazurak, N. V. Kachmar, G. A. Lusak

Lviv National Agrarian University, Lviv, Ukraine

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF ORGANIC WASTE RECYCLING

Thermal waste disposal, as well as their storage in landfills, creates a number of serious environmental problems. Therefore, it is necessary to study possibilities of safe waste recycling, including organic component, and ways of their rational utilization of factors concerning minimization of environmental hazards. In the course of the research the following results are obtained. Firstly, the authors described the environmental problems associated with disposal of organic waste. Then different ways of emitting these hazardous pollutants in the environment are shown. The main sources of dioxins emissions in the environment are considered to be as follows: uncontrolled combustion and thermal recycling of waste; production processes; organochlorine compounds; biogenic processes during composting; long-term storage of chemical waste in landfills and storage facilities. Research sources formation of dioxins provide specific terms of their formation and opportunities to cause pollution or subjected to its influence largely depends on the method of storage and waste disposal. The attention is focused on methods of reducing pollution and minimizing the impact of toxicants mechanisms (processes control conditions in the workplace; action of microorganisms that are ruining hydrocarbon rings persistent organic pollutants, soil phytoremediation). The positive results of studies of urban compost from organic waste is biostimulant and a source of nitrogen in plant nutrition. However, the authors have selected heavy metal toxicity problem, particularly for compost from animal waste. The model of bio-conditioning of organic waste to produce complex organic fertilizers has been designed.

Keywords: dioxins; xenobiotics; heavy metals; pollution; toxicity; composting.

Інформація про авторів:

Мазурак Оксана Тимофіївна, канд. техн. наук, доцент, Львівський національний аграрний університет, м. Львів, Україна.

Email: oksana_mazurak@ukr.net

Мазурак Андрій Васильович, канд. техн. наук, доцент, Львівський національний аграрний університет, м. Львів, Україна.

Email: amazurak@ukr.net

Качмар Наталія Василівна, канд. с-г наук, доцент, Львівський національний аграрний університет, м. Львів, Україна.

Email: notujka@mail.ru

Лысак Галина Антонівна, канд. біол. наук, доцент, Львівський національний аграрний університет, м. Львів, Україна.

Email: galynalysak@mail.ru