

вміст клейковини. У зерні сорту Куїнтус за впливу препаратів визначено зростання зазначеного вище показника на 12,4 (варіант А), 38,0 (варіант Т) та 41,6 (варіант А+Т) % (варіант К – $13,7 \pm 0,4$ %). У зерні пшениці сорту Лікамеро виявлено також підвищення вмісту клітковини на 9,0 (А), 15,0 (Т) та 12,0 (А+Т) %. За величиною натури між контрольним і дослідними варіантами в обох сортів не виявлено статистично вірогідної різниці. Варто зазначити, що показники якості зерна у сорту Куїнтус були вищими порівняно з аналогічними параметрами сорту Лікамеро за використання в технології вирощування РКТ. Зерно пшениці сорту Куїнтус дослідних варіантів було сушіше на 1,8 (А), 6,7 (Т) та 7,3 (А+Т) % порівняно з контролем (К – $16,5 \pm 0,3$ %), а у сорту Лікамеро лише у варіанті А вологість зерна була нижчою порівняно з К на 1,6 %. За впливу Т та комплексного застосування А+Т зазначений показник був вищим на 5,2 (Т) та 7,7 (А+Т) % (К – $15,5 \pm 0,4$ %).

Отже, використання РКТ у технології вирощування пшениці ярої сортів Куїнтус та Лікамеро суттєво поліпшило якісний склад зерна, зокрема, вміст протеїну та клейковини. За показником натури рослини ярої пшениці дослідних варіантів статистично вірогідно не відрізнялися від контрольних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бараболя О. В., Барат Ю.М., Кулик М.І. // Вісник Уманського національного університету садівництва. 2018. 2: 3-9.
2. Грицаєнко З.М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.П. // 2003: 320.
3. Дзендзель А.Ю. // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. 2022. 3(82): 52-58.
4. Жемела Г. П., Бараболя О.В., Татарко Ю.В., Антоновський О.В. // Вісник ПДАА. 2020. 3: 32-39.
5. Моргун В. В., Коць С. Я. // Фізіологія рослин і генетика. 2017. 5(49): 452-459.
6. Boshevska M., Sandeva I., Verde S.C., Spasevska H., Jankuloski Z. // Food Control. 2024. 158: 110201.

МІКРОПЛАСТИКОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ ЯК ЗАГРОЗА СТІЙКОСТІ ЕКОСИСТЕМ: ГЛОБАЛЬНІ НАСЛІДКИ І СТАЛІ РІШЕННЯ

Є.А. Криштоп

Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна
к.с.-г.н., доцент кафедри екології та біотехнологій в рослинництві, kafagroeco@ukr.net

Пластикові вироби нині широко використовуються у всіх сферах життя через їх універсальність, довговічність, легкість і стабільність. Низькі виробничі витрати певною мірою зменшили дефіцит природних матеріалів і зробили їх так званім «необхідним» матеріалом у різних сферах соціально-економічного розвитку. Поточні рівні виробництва пластику, моделі використання/утилізації, рівень переробки та демографічні показники свідчать про збільшення кількості пластикових відходів. Виробництво пластмас має стійку динаміку зростання, збільшення річного обсягу складає 8,4 %, що приблизно в 2,5 рази більше середньорічного обсягу світового валового внутрішнього продукту [1]. Якщо динаміка росту та темпи виробництва пластмас залишаться такими ж, то до кінця 2050 р. в світі буде вироблено 26000 млн т полімерів та 6000 млн т поліпропіленових і акрилових волокон. Прогнозовано, що з цієї кількості пластикових відходів 12000 млн т (≈ 37 %) буде спалено, 900 млн т (≈ 26 %) перероблено, а 12000 млн т (≈ 37 %) викинуто на звалища або в навколишнє середовище [2].

Пластмаси, що накопичені в різних місцях навколишнього середовища, будуть розкладатися під дією низки фізичних, хімічних або біологічних процесів, поступово зменшуючи розмір частинок. Цикл деградації пластикових відходів може спричинити серйозні проблеми з довкіллям, оскільки поверхнева крихка пластмаса утворює мікротріщини внаслідок вивітрювання, включаючи ультрафіолетове світло та гідроліз, а потім поступово розпадається на дрібні фрагменти або частинки, відомі як мікропластик [3].

У широкому розумінні мікропластик – це будь-яка синтетична тверда пластикова частинка або полімерна матриця, її розмір коливається від 1 мкм до 5 мм [4], і вони є новим видом забруднення, що викликає занепокоєння в глобальному навколишньому середовищі через їх широке поширення та потенційні ризики.

Мікропластики можна розділити на первинні та вторинні відповідно до їх джерел. Первинний мікропластик – це безпосереднє виробництво дрібних частинок пластику внаслідок промислових потреб, таких як косметика, зубна паста, миючі засоби та деякі полірувальні засоби з абразивними функціями, усі вони містять певну кількість частинок пластику, тоді як вторинний мікропластик – це пластикові відходи, які розпадаються на більш дрібні частинки через механічне зношування вітром і водою, а також хімічну та біологічну деградацію світла, тепла та мікроорганізмів після потрапляння пластикових відходів у навколишнє середовище [5].

Мікропластик зазвичай утворюється за допомогою різноманітних фізичних і хімічних процесів, включаючи стирання, розкладання УФ-променями, виробничі процеси та фізичну або хімічну фрагментацію.

Вплив мікропластику на глобальні екосистеми нині широко визнається та обговорюється в багатьох наукових дослідженнях [6, 7, 8], де повідомляється про виявлення різних типів мікропластику у світовому океані, поверхневих водах, агрохімікатах, продуктах харчування, питній воді. Відмічено прямий та опосередкований негативний його вплив на здоров'я людини та біоту, руйнування ґрунтів та порушення нормального функціонування екологічних систем.

Більше того, існує багато доказів того, що мікропластик також присутній у наземних екосистемах і що ~80 % глобального пластикового сміття накопичується на звалищах, а це означає, що ґрунт, ймовірно, є великим поглиначем мікропластику. Відомо, що майже 90 % пластикових відходів на суші прямо чи опосередковано потрапляє в ґрунт. Крім того, оскільки мікропластики можуть діяти як носії різних токсичних забруднювачів, під час потрапляння в ґрунтове середовище, вони також можуть завдати шкоди ґрунтовій екосистемі, що матиме згубний вплив на здоров'я та функціонування ґрунту [9].

Розподіл і переміщення мікропластику до ґрунтів сільськогосподарських угідь відбувається в основному кількома шляхами через фрагментацію більшого пластику (наприклад, із пластикової мульчі, покриття для теплиць, тюків для силосу, контейнерів, упаковки та сітки), зрошення забрудненою водою, насіння/пестициди/добрива з поліетиленовим покриттям, осади стічних вод, атмосферне осадження у повітрі тощо.

Примітно, що дослідження щодо мікропластикового забруднення змінюються з кожним днем, кількість наукових публікацій зростає в геометричній прогресії з кожним роком, постійно з'являються нові відкриття. Однак, оскільки немає відповідного стандарту аналітичного тестування, багато вчених зосереджуються в основному на видобутку, ідентифікації та розповсюдженні мікропластику. Тому необхідно постійно узагальнювати останні досягнення досліджень, особливо щодо моделей просторового розподілу мікропластику, зокрема в ґрунтового середовищі.

Мікропластик накопичується в усіх фізичних середовищах, таких як водойми, ґрунт та опади, і навіть розсіюється в повітрі. Завдяки повсюдному поширенню мікропластик зараз є частиною харчового ланцюга, і дані свідчать про те, що він може завдати значної шкоди людям, тваринам та екосистемам. Пряма та потенційна загроза визначається не лише «життєвим» циклом пластику/мікропластику а і «життєвим» циклом хімічних речовин, що входять до його складу. Фактично мікропластик виконує ідеальну функцію транспортної

форми для масового розповсюдження небезпечних для людини хімічних речовин, їх проникнення в живі організми, масового забруднення води та порушення нормального функціонування екологічних систем. Частковим вирішенням проблеми глобальної пластикової кризи у світі може бути суттєве скорочення виробництва пластмас та покращення управління пластиковими відходами. В цьому контексті метод низькотемпературного піролізу вигідно відрізняється від інших термічних методів переробки і має значні перспективи його практичного використання [10].

У недавньому дослідженні вчені Океанографічного інституту Вудс-Хоула (WHOI) розробили метрику сталості для екодизайну пластикових виробів з низькою екологічною стійкістю та безкомпромісними експлуатаційними характеристиками. Для цього вони інтегрували швидкість екологічної деградації пластику в існуючі стратегії вибору матеріалів, отримавши індекси екологічної стійкості матеріалів. Порівнюючи індекси впливу на довкілля наявних на ринку пластиків і запропонованих альтернатив, дослідники показали, що врахування екологічної стійкості пластику в дизайні може принести суспільству вигоду в сотні мільйонів доларів для одного споживчого продукту. Аналіз визначає матеріали та їхні властивості, які заслуговують на розвиток, впровадження та інвестиції для створення функціональних пластикових виробів із меншим впливом на довкілля [11].

Будучи майже незнищеним, на руйнування якого потрібні від десятиліть до століть, зростає потреба в альтернативі традиційним нафтовим пластмасам і мікропластикам. Відповіддю на це рішення є розробка пластику, який не генерує стійкий мікропластик у рамках свого нормального життєвого циклу. Навіть якщо пластик належним чином зібраний і перероблений, він все одно утворює мікропластик як частину нормального зносу від повсякденного використання або як наслідок процесів переробки чи прання. Отже, щоб запобігти цьому, потрібно розробити нові пластикові матеріали, які є більш екологічною альтернативою традиційному пластику і повністю біологічно розкладаються, тобто швидко втрачають цілісність під дією живих організмів у навколишньому середовищі.

З цією метою корпорація Algenesis та дослідницька група вчених і професорів Каліфорнійського університету в Сан-Дієго створили рослинний полімер, який біологічно розкладається на рівні мікропластику протягом семи місяців за допомогою прямої візуалізації та респірометрії [12]. Зараз ведеться робота по впровадженню універсальних стандартів. Існує потреба в змінах поведінки в напрямку використання менше пластику та збільшення використання продуктів, виготовлених з біопластику. Однак важливо зазначити, що навіть біорозкладаний пластик потребує належних умов компостування.

Зрозуміло, що вищезазначені дослідження не вичерпують усього арсеналу рішень, а лише окреслюють наше стратегічне бачення пріоритетних способів вирішення цієї проблеми. Величезна кількість часточок, різноманітних за складом, розмірами, формою поверхні, з адсорбованими на них хімічними речовинами та мікроорганізмами, створює проблему в оцінці реального забруднення екологічних систем. Така невизначеність стосовно причинно-наслідкового зв'язку усього комплексу факторів реального мікропластикового забруднення і його потенційно шкідливого впливу на стан довкілля і здоров'я людей вимагає продовження вивчення цих складних взаємозв'язків в умовах реального життя.

Показово, що у рамках регламенту № 1907/2006 Європейського парламенту та Ради про хімічні речовини та їх безпечне використання (REACH) Єврокомісія запровадила заходи, що стосуються застосування шкідливих хімічних речовин на території Євросоюзу. Згідно з ними, тепер у Євросоюзі заборонено продаж мікропластику та продуктів, до яких його спеціально було додано. ЄС зобов'язався до 2030 року скоротити на 30 % кількість сміття із вмістом мікропластику. Нові правила є першим кроком на шляху до цієї мети. Наступним кроком може стати заборона в майбутньому мікропластику, який може ненавмисно опинитися в навколишньому середовищі. Наприклад, під час зношення автомобільних шин або під час прання одягу. Є сподівання, що нові правила щодо застосування мікропластику в ЄС можуть надихнути інші регіони світу запровадити подібні заходи, зокрема і в Україні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Plastics – the Facts 2016. An analysis of European plastics production, demand and waste data.
2. Geyer R. et al. // Science Advances. 2017. 3(7).
3. Auta H.S., Emenike C., Fauziah S. // Environ. Int. 2017. 102: 165–176.
4. Boucher J., Friot D. // Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources. Iucn. 2017. 10.
5. Laskar N., Kumar U. // Environ. Technol. Innov. 2019. 14: 100352.
6. Ng E.L., Lwanga E.H., Eldridge S.M., Johnston P., Hu H.W., Geissen V., Chen D. // Sci. Total Environ. 2018. 627: 1377–1388.
7. Schell T., Rico A., Vighi M. // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology (Continuation of Residue Reviews). Springer, New York, 2020.
8. Vethaak A.D., Legler J. // Science 2021. 371: 672–674.
9. Lambert S., Sinclair C., Boxall A. // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. 2014. 227: 1–53.
10. Коріненко Б.В. // Вісник ВПШ. 2022. 6: 6–12.
11. James B.D., Ward C.P., Hahn M.E., Thorpe S.J., Reddy C.M. // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2024. 12(3): 1185-1194.
12. Allemann M.N., Tessman M., Reindel J. et al. // Sci Rep. 2024. 14: 6036.

**ВИКОРИСТАННЯ КУЛЬТУРИ «БОРОДАТИХ» КОРЕНІВ
ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД СПОЛУК ХРОМУ**

Л.В. Лучко¹, Н.А. Матвєєва²

ННЦ «Інститут біології та медицини» КНУ ім. Т.Г. Шевченка, Київ, Україна

¹студентка, lilu.luchko@gmail.com

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна

²зав. лабораторії, joyna@ukr.net

Вступ. Антропогенний вплив спричинив значне накопичення важких металів у ґрунтах та природних водоймах. Забруднення також спостерігається у стічних водах, де найбільшими полютантами є Кадмій, Мідь, Свинець та Хром [1]. Останній елемент зазвичай є три- та гексавалентним у сполуках, проявляє різний ступінь токсичності залежно від валентності. Так, Cr (III) є доволі стабільним та у воді може випадати в осад у вигляді Cr(OH)₃, а гексавалентний Хром входить до двадцятки найтоксичніших забруднювачів [2].

З метою очистки води від токсичних металів використовують різні фізичні та хімічні методи, недоліками яких є високі енергетичні затрати та використання хімікатів, відповідно. Також недоліком може бути утворення великої кількості мулу, як, наприклад, за використання хімічної преципітації. Біологічні методи очистки, такі як біо- та фітореMediaція, є привабливими альтернативами класичним фізичним та хімічним способам завдяки меншим витратам, спрощеному процесу очищення, відсутності потреби застосування дороговартісного обладнання та більшої екологічності.

Ефективне проведення фітоекстракції, що є одним з дешевших методів усунення металів із забруднених середовищ, потребує швидкого росту рослин, їх здатності накопичувати велику кількість важких металів. Фітотрансформація (фітодеградація), як і фітоекстракція є ефективнішою при більшій поверхні контакту коренів із середовищем.

Так, одним із можливих шляхів покращення здатності рослин утилізувати токсичні метали є використання трансформованих коренів, які отримують шляхом кокультування рослинних експлантів з бактеріями *Agrobacterium rhizogenes*. Трансформація рослини цією