

ФІТОТОКСИКОЛОГІЯ: ВИНИКНЕННЯ, МЕТОДОЛОГІЯ, ОСНОВИ

У статті висвітлено етапи становлення фітотоксикології як наукового напрямку, що досліджує наслідки дії токсикантів на функціонування рослинних організмів. Предметом фітотоксикології є оцінка впливу поллютантів на фітокомпонент екосистеми, об'єктом – фітокомпонент екосистеми певного рівня (організм, вид, популяція, угруповання)

Постановка проблеми

На сьогодні тенденція до збільшення антропогенного навантаження на екосистеми є очевидною. Людина не тільки намагається вилучити енергію екосистеми у вигляді отримання урожаю або біопродукції, а також – в результаті прагнення до створення максимально комфортних умов свого існування – систематично або одноразово забруднює екосистеми шляхом промислових і транспортних викидів, нагромадження побутових відходів, застосування агротехнологій. Всі ці вище зазначені фактори викликають

порушення енергетичного балансу екосистеми, і, як наслідок – збільшення її ентропії. Це означає, що біоценоз стає на шлях свого колапсу. Адже в природних умовах для підтримання оберненості процесів, нульового значення ентропії виникли механізми саморегуляції екосистеми, в тому числі ієрархія природних систем, в яких підсистеми контролюються надсистемами, і навпаки, підсистеми – системами, що входять до їх складу [5, 6]. Дослідження процесів деградації екосистеми у результаті дії токсикантів на функціонування рослинних організмів є проблемою вивчення фітотоксикології, яка має розвиватися як науковий напрям. Встановлення ступеню деградованості екосистеми та резерв її експлуатації дає можливість створити класифікацію екосистем стосовно ентропії, а також градацію полютантів екосистем за ступенем їх впливу на ентропію. На основі цього можливим стає надання рекомендацій стосовно раціонального використання ресурсів екосистеми. Тому сукупність фітотоксикологічних знань має стати одним з основних чинників, що сприятимуть формуванню екологічного менталітету етносу.

Аналіз останніх досліджень

Результати досліджень останніх світових та вітчизняних науковців свідчать про несистематизований характер фітотоксикологічних досліджень. Дослідженню динаміки та кінетики патогенезу фітокомпоненту приділяється значна увага на різних рівнях від клітинного до екосистемного [1, 8]. Значна кількість авторів аналізує механізми дії певного або ряду металів на рослинний організм [2, 4]. Такі визначні вчені, як Н.Ф. Реймерс, Ю.Р. Шеляг-Сосонко розглядають патогенез фітокомпонента як глобального фільтру біосфери, наголошуючи на тому, що рослинність відіграє провідну роль у забезпеченні збалансованого кругообігу речовини, а отже, і екологічної рівноваги екосистем, створюючи тонку плівку життя — фітострому, загальним вектором розвитку якої є збільшення різноманіття, організованості, стабільності, диференційованості та адаптованості до умов середовища відповідно до її енергоакумулюючої, геохімічної, стабілізуючої та інформаційної планетарної ролі [6,7,10]. В контексті цих думок знаходяться також дослідження Шенона та Р. Мак-Артура, в яких показано розрахунок ентропії екосистеми та визначальну роль показнику фітопродуктивності (в залежності від екотопу, виду екосистем фітопродуктивність може бути переважною у загальній біопродуктивності, яка є аргументом до показника ентропії екосистеми) [3]. Але наразі відсутній алгоритм використання природних та еугеоморбних ресурсів, відсутнє і районування території України стосовно ступеня ентропії екосистем. Відсутня також і класифікація антропогенних забруднювачів за рівнем впливу їх властивостей на ентропію екосистеми, що дало б змогу контролювати та регулювати антропічне навантаження певних полютантів на конкретну

екосистему в ґрунтово-кліматичній зоні. Підхід щодо розрахунку пестицидного навантаження на агроекосистему та встановлення агроекологічного індексу, який визначає ступінь ризику комплексу застосованих засобів захисту рослин, описаний в працях В.М. Кавецького, Л.І. Бублик та ін. [9]. Цілком очевидно, що необхідна також розробка максимально можливого навантаження інших антропогенних визначальних факторів забруднення на екосистему та методологія раціоналізації використання енергії агро- і нативних екосистем України.

Виникнення парадигмального оформлення науки є об'єктивним явищем кристалізації певних знань, що виокремились у процесі соціально-економічного розвитку суспільства [5]. Фітотоксикологія як науковий напрям почала формуватися у процесі генетичних, біохімічних та фізіологічних досліджень патогенезу рослин на організменному, популяційному і фітоценотичному (біогеоценотичному) рівнях у зв'язку з аномальним станом та розвитком абіотичних факторів (під останніми розуміється все розмаїття хронічного та імпаکتного забруднення екосистем хімічного та фізико-хімічного походження), тобто йдеться про дослідження наслідків дії токсикантів на функціонування рослинних організмів.

Фактично, накопичення фітотоксикологічних знань протягом ХІХ і на початку ХХ століття було тим головним інформаційним джерелом, що стало передумовою розумного вирощування рослин і, як складова цієї діяльності, спостереження природних та штучних патологій росту культурних рослин та впровадження технологій щодо їх усунення. Прагнення стимулювання росту одних видів чи сортів рослин різними органічними, мінеральними речовинами (або їх комбінаціями) природного або штучного походження та результати діяльності промисловості і транспорту зумовили вірогідність або випадковість виникнення інгібування фітопродукційного процесу певних фітоценозів (блок законів *L*-факторів). Таким чином, фітотоксикологія як система знань виокремилась у самостійний напрям у зоні взаємодії агрономічних наук із появою штучної або природної біогеохімічної ендемії різного рівня у просторі та часі. Цей період є інтуїтивно-експериментальним етапом історичного розвитку наукового напрямку (або період констатуючих спостережень) [8].

Другий етап становлення наукового напрямку – оцінювально-аналітичний (середина ХХ – кінець ХХ століття). В цей період постає завдання якісної та кількісної оцінки патологій фітокомпоненту, які проявлялись у вигляді явищ гормезису або інгібізису як в агроценозах, так і у нативних екосистемах. Проходить становлення системи знань щодо оцінки як безпосередньо фактору, так і комплексної взаємодії чинників впливу на фітокомпонент. В умовах агроценозу виявлення та оцінка явищ інгібізису та якісних змін у структурі фітокомпоненту проводилась раніше,

ніж у нативних екосистемах, оскільки насамперед людину цікавили урожайність та якість сільськогосподарської продукції.

Третій етап – моніторингово-управлінський (кінець 90-х років ХХ століття – по теперішній час). На даному етапі виникають спроби науково обгрунтованого підходу до використання засобів захисту рослин, розташування промислових об'єктів, автотранспортних шляхів. З'являється необхідність створення систем моніторингу фітокомпоненту, які б дали можливість контролювати фітопродукційний процес та підтримувати енергетичний баланс екосистем. На даному етапі цілком очевидною постає гостра необхідність створення екологічної ментальності суспільства, що є складним довготривалим процесом [6-8].

Об'єкти та методи дослідження

Предметом дослідження фітотоксикології є оцінка впливу поллютантів на фітокомпонент екосистеми, об'єктом – фітокомпонент екосистеми певного рівня (організм, вид, популяція, угруповання, тощо).

Основними проблемами фітотоксикології є:

- встановлення абіотичних факторів, що викликають порушення фітопродуктивного процесу;
- кількісна та якісна оцінка впливу токсикантів на фітопродуктивність;
- класифікація поллютантів за ступенем токсичності щодо фітокомпоненту;
- наслідки дії порушення фітопродуктивного процесу для екосистеми (встановлення ступеня деградації екосистеми);
- розробка класифікації екосистем та районування територій стосовно рівня зміщення фітопродуктивного процесу та ентропії екосистеми;
- надання рекомендацій стосовно впровадження заходів з відродження фітопродуктивного процесу та раціоналізації використання екосистем.

Фітотоксикологія, як кожна наука, має два рівні пізнання: теоретичний та емпіричний. Емпіричний рівень включає методи спостереження, порівняння та експерименту. Теоретичний рівень вимагає систематизованого, узагальненого, внутрішньо несуперечливого, достовірного знання про сутність досліджуваних явищ, розкриває причини та внутрішні необхідні зв'язки між явищами [5]. У фітотоксикології найбільш поширеними категоріями є наступні: феноменологічно-дескриптивні, каузальні та номологічні узагальнення.

Феноменологічно-дескриптивні узагальнення – це сукупність констатацій явища, що є наслідком випадкового або систематичного забруднення нормального стану біогеохімічних процесів екосистеми, популяції, організму тощо, тобто кількісна оцінка зміщення

фітопродуктивного процесу та якісні ознаки впливу одного або сукупності полютантів на популяцію. Встановлення фітометричних показників, візуальних характерних специфічних ознак токсичності полютанту є першим етапом для подальшого аналізу ступеня впливу аллохтонної дії на фітокомпонент.

Каузальне узагальнення ґрунтується на причинно-наслідкових зв'язках між явищами, зокрема, закономірності впливу аллохтонних сполук штучного походження на якісно-кількісні характеристики рослинного компоненту. Даний тип узагальнень включає встановлення діапазонів та порогів фітотоксичності полютанту або їх комплексу; виявлення синергічної або нигілятивної дії токсикантів на фітокомпонент; оцінка токсичності полютантів по відношенню до фітокомпоненту за певною властивістю (біокумуляція, вплив на біологічну активність ґрунту, рухомість у ґрунті, міграція в аеротоп екосистеми); кількісна оцінка балансу полютанту у системі „ґрунт – рослина”; розрахунок ентропії екосистеми в умовах її забруднення тощо.

Номологічні узагальнення спрямовані, головним чином, на загальні закони, які дають змогу мати всебічне сутнісне бачення об'єкту дослідження у контексті аномальних процесів, що уможливорює прогнозування наслідків забруднення фітокомпоненту для екосистеми загалом. До номологічних узагальнень відносяться: класифікація полютантів за рівнем впливу їх властивостей на ентропію екосистеми; районування території стосовно ступеню ентропії екосистем; прогнозування періоду патологічної дії токсиканту на рослини (як на організменному, так і популяційному рівнях); час відновлення нормального функціонування фітокомпоненту екосистеми. На основі цього здійснюються рекомендації щодо усунення негативних наслідків забруднення та раціонального використання фіторесурсу екосистем. Номологічні і каузальні узагальнення схематизуються у 4-компонентну структуру: 1. Факти досліджуваної реальності; 2. Процедурні норми, методи тощо; 3. Логіко-математичний і теоретичний апарат; 4. Модель – відтворений образ пояснювального явища.

На прикладі імпактного забруднення Cd, Pb, Cu, Zn агроценозу в умовах дерново-середньопідзолистого ґрунту (рН сол. 5,5, гідролітична кислотність 2,7 мг-екв./100 г, вміст гумусу за Тюрнімом 0,87%, ступінь насиченості основами 58%) та чорнозему типового малогумусного (рН сол. – 6,2, ступінь насиченості основами 82,3%, вміст гумусу за Тюрнімом 2,89 %) були проведені дослідження щодо оцінки небезпечності важких металів (ВМ) за ступенем впливу їх властивостей (рухомість у ґрунті, дія на оксидоредуктази ґрунту, міграція у системі “ґрунт–рослина”) на фітопродуктивність ячменю ярого та створення класифікації ВМ за ступенем їх токсичності по відношенню до досліджуваної культури. Вплив

досліджуваних властивостей на фітопродуктивність в умовах імпаکتного забруднення ВМ встановлювали за допомогою коефіцієнта парної кореляції між порогами фітотоксичності (0, 10, 50, 75% зниження фітопродуктивності) в результаті забруднення ВМ та коефіцієнтом переходу у загальну фітомасу ячменю в системі “грунт–рослина”, вмістом рухомих форм металу в ґрунті, ферментативною активністю ґрунту. Експериментальні дослідження проводили на базі Чернігівського інституту АПВ УААН.

Встановлення коефіцієнту кореляції між фітопродуктивністю та досліджуваними показниками ВМ (вміст рухомих форм у ґрунті, коефіцієнт переходу у системі “грунт–рослина”, дія на активність оксидаз ґрунту) показало, що всі ці властивості є необхідними при вивченні впливу ВМ на фітопродуктивність. У більшості випадків коефіцієнт кореляції між фітопродуктивністю та цими показниками знаходився у межах 0,5 – 0,9.

Результати дослідження

Найбільш високим значенням коефіцієнта кореляції між фітопродуктивністю та коефіцієнтом переходу в системі “грунт-рослина” характеризувалась мідь: значення r складало $-0,887$ на дерново-середньопідзолистому ґрунті та $-0,974$ на чорноземі типовому малогумусному. Для кадмію коефіцієнт кореляції між цими показниками становив $-0,968$ на дерново-середньопідзолистому ґрунті та $-0,318$ на чорноземі типовому малогумусному. Найменше значення r було для цинку: на дерново-середньопідзолистому ґрунті $-0,470$ та на чорноземі $0,062$. Це вказує на те, що інтенсивність переходу цинку не є визначальним фактором у пригніченні фітопродуктивності ячменю на відміну від міді.

Оскільки ферменти ґрунту вони – поліфенолоксидаза та пероксидаза беруть участь у процесах синтезу та мінералізації гумусу, є необхідною умовою його родючості, яка впливає на фітопродуктивність. Вплив активності оксидаз на фітопродуктивність суттєва, що підтверджується кореляційним аналізом. Найбільшим ступенем впливу на фітопродуктивність характеризувалась ферментативна активність ґрунту при забрудненні його свинцем. Так, в умовах забруднення Pb для поліфенолоксидази на дерново-середньопідзолистому ґрунті r становив $0,877$ та на чорноземі $0,900$ і для пероксидази відповідно $0,981$ та $0,907$.

Показник вмісту рухомих форм металу в ґрунті є найбільш впливовим щодо фітопродуктивності для всіх досліджуваних металів, оскільки величина коефіцієнта кореляції між цим показником та фітопродуктивністю становила більше $0,9$. Коефіцієнт кореляції між фітопродуктивністю та вмістом у ґрунті рухомих форм Cd на дерново-

середньопідзолисту ґрунті становив 0,992; Pb – 0,996; Cu – 0,999; Zn – 0,996 та на чорноземі типовому відповідно 0,993; 0,999; 0,999; 0,997.

За впливом певної властивості на фітопродуктивність, доцільно провести градацію досліджуваних металів наступним чином: 1. Високонебезпечні ($r > 0,9$). 2. Небезпечні ($r = 0,9 - 0,5$). 3. Помірно небезпечні ($r = 0,49 - 0,3$). 4. Малонебезпечні ($r < 0,3$).

За впливом вмісту рухомих форм полютанту в ґрунті до високонебезпечних належать всі досліджувані метали, оскільки коефіцієнт кореляції між цим показником та фітопродуктивністю на обох досліджуваних ґрунтах становить більше 0,9. До високонебезпечних належать Cd (на дерново-середньопідзолисту ґрунті) та Cu (на чорноземі типовому) за впливом інтенсивності переходу в системі “ґрунт–рослина”. За дією на активність пероксидази ґрунту до високонебезпечних належить свинець на обох типах ґрунтів та цинк на чорноземі (табл.). Всі досліджувані метали небезпечні за дією на активність поліфенолоксидази. Кадмій та мідь також небезпечні за дією на активність пероксидази на обох досліджуваних ґрунтах та Zn на дерново-середньопідзолисту ґрунті.

Фітотоксикологічна оцінка небезпечності важких металів за впливом їх властивостей на фітопродуктивність ячменю ярого

Показник	Рівень небезпечності			
	високо- небезпечні ($r > 0,9$)	небезпечні ($r 0,9-0,5$)	помірно небезпечні ($r 0,49 -0,3$)	мало- небезпечні ($r < 0,3$)
Вміст рухомих форм у ґрунті, мг/кг	<u>Cd</u> <u>Cu</u> <u>Zn</u> Cd, Cu, Zn, <u>Pb</u> Pb	-	-	-
Інтенсивність переходу, Кп	<u>Cd</u> , <u>—</u> Cu	<u>Pb</u> <u>Cu</u> Pb,	<u>—</u> <u>Zn</u> Cd,	<u>—</u> Zn
Активність поліфенолоксидази	-	<u>Cd</u> <u>Cu</u> <u>Zn</u> Cd,Cu, Zn, <u>Pb</u> Pb	-	-
Активність пероксидази	<u>—</u> <u>Pb</u> Zn, Pb	<u>Cd</u> <u>Cu</u> <u>Zn</u> Cd, Cu,	-	-

Примітка: в чисельнику знаходяться метали, які віднесені за токсичними властивостями до певного класу токсичності на дерново-середньопідзолисту ґрунті, а в знаменнику – на чорноземі типовому малогумусному.

Висновки

Таким чином, фітотоксикологія – це наука, що досліджує наслідки дії токсикантів на функціонування рослинних організмів. Її виникнення як наукового напрямку зумовлено, насамперед, екологічними причинами. Впровадження моніторингу фітопродуктивного процесу у екосистемі є об'єктивною необхідністю не тільки через безпосереднє надходження поллютантів до харчових ланцюгів, останньою ланкою яких є людина, але й зумовлено потенційним ризиком небезпечності для комфортного та здорового функціонування етносу. Основними проблемами фітотоксикології є: встановлення факторів, що викликають порушення фітопродуктивного процесу; кількісна та якісна оцінка впливу токсикантів на фітопродуктивність; класифікація поллютантів за ступенем токсичності щодо фітокомпоненту; наслідки дії порушення фітопродуктивного процесу для екосистеми (встановлення ступеня деградації екосистеми); розробка класифікації екосистем та районування територій стосовно рівня зміщення фітопродуктивного процесу та ентропії екосистеми; надання рекомендацій стосовно впровадження заходів з відродження фітопродуктивного процесу та раціоналізації використання екосистем. Сукупність фітотоксикологічних знань, які поєднуються у феноменологічно-дескриптивні, каузальні, номологічні узагальнення, має вагоме сутнісне значення у формуванні екологічного менталітету суспільства, що є на сьогодні одним з найважливіших і найскладніших завдань екології.

У результаті застосування фітотоксикологічної оцінки функціонування екосистеми в умовах її забруднення важкими металами встановлено, що на рівень фітопродуктивності ячменю ярого на дерново-середньопідзолистому ґрунті та чорноземі типовому малогумусному найбільше впливає вміст рухомих форм даних поллютантів у ґрунті. До високо небезпечних належать Cd (на дерново-середньопідзолистому ґрунті) та Cu (на чорноземі типовому) за впливом інтенсивності переходу у системі “ґрунт–рослина”. За дією на активність пероксидази ґрунту до високо небезпечних належать свинець на обох типах ґрунтів та цинк на чорноземі; до небезпечних за дією на активність поліфенолоксидази – Cd, Pb, Cu, Zn. Кадмій та мідь також небезпечні за дією на активність пероксидази на обох досліджуваних ґрунтах та Zn на дерново-середньопідзолистому ґрунті.

Перспективою даного дослідження є застосування фітотоксикологічної оцінки небезпечності решти важких металів на інші сільськогосподарські культури та дикорослі рослини, що дасть можливість мати цілісне уявлення про вплив токсикантів на фітопродуктивність, а як наслідок, і на ентропію екосистеми. Буде продовжено роботу з проведення градації поллютантів за ступенем їх впливу на ентропію екосистеми, а також екосистем за ступенем ентропії. На основі цього можливим стане надання рекомендацій стосовно раціонального використання ресурсів екосистеми.

Література

1. *Алексеев Ю.В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях.-Л.:ВО Агропромиздат, Ленингр. отд-ление, 1987. – 142 с.
 2. *Алексеева-Попова Н.В.* Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. - Л.: АН СССР Бот. ин-т им. *В.Л. Комарова*, 1991. – 214 с.
 3. *Дедю И.И.* Экологический энциклопедический словарь. – К.: 408 с.
 4. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва – растение. Новосибирск ; Наука, Сибирск. Отд - ние, 1991. – 149 с.
 5. *Крисаченко В.С.* Людина і біосфера: основи екологічної антропології. – К.: Заповіт, 1998. – 688 с.
 6. *Реймерс Н.Ф.* Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) – М.: Журнал “Россия молодая”, 1994. – 367 с.
 7. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование. Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 638 с.
 8. *Риженко Н.О.* Фітотоксикологічний підхід дослідження функціонування екосистеми//Науковий вісник НАУ. – Вип.86 . – К.: НАУ, 2005. – С. 251–256.
 9. *Справочник по контролю за применением средств химизации в сельском хозяйстве / Под ред. В.П.Васильева, В.Н.Кавецкого, Л.И.Бублик и др.*- К.: Урожай, 1989. – 159 с.
 10. *Шеляг-Сосонко Ю.Р., Смельянов І.Г.* Концептуальні засади наукового розуміння біорозмаїття // Конвенція про біологічне розмаїття: Громадська обізнаність і участь. – К.: Стилос, 1997. – С. 11–24.
-
-