

Н.О.Риженко, канд. с-г наук, В.М.Кавецкий, професор

ОЦІНКА ФІТОТОКСИЧНОСТІ Cd, Cu, Zn, Pb ЗА УМОВ МОНО- ТА МУЛЬТИМЕТАЛІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ

Інститут екогієни і токсикології
ім. Л.І. Медведя МОЗ України, Київ

Прогноз прояву токсичності важких металів (ВМ) на живий організм за їх сумісної дії є необхідною умовою дослідження поведінки цих поллютантів в системі "ґрунт-рослина", оскільки явище мультиметалічного впливу на складові екосистеми є найбільш типовим за умов імпактного і хронічного забрудненя, а токсична дія металів може реалізуватись по-різному з точки зору кількісного та якісного ефекту в залежності від комбінації поллютантів у суміші. При цьому, як правило, має місце явище синергетичної дії (синергізму) — взаємодії елементів, при якому ефект є більшим або меншим, ніж сума впливу від дії окремих поллютантів, або збільшення чи зменшення сили впливу одного фактору за наявності в середовищі інших однонаправлених факторів [1].

При сумісному забрудненні солями ВМ їх токсична дія може реалізуватись таким чином:

- адитивна дія або проста сума токсичних ефектів окремих поллютантів у якісному та кількісному розумінні;
- потенційована дія — збільшений ефект у кількісному розумінні при умовно-якісній константі;
- нігілятивна дія — зменшений ефект у кількісному розумінні при умовно якісній константі;
- дивергентна дія — зменшений або збільшений (або такий самий за рівнем руйнівних наслідків), але якісно інший; тобто змінюється характер дії [2].

Термін "синергізм" включає явища потенціювання, нігіляцію і дивергенцію та разом із "адитивною дією" може вичерпувати весь спектр дій.

Адитивна дія при сумісному імпактному забрудненні, як правило, дуже рідкий випадок. Проста сумарна (кількісна) дія може бути таким чином зрозуміла, але на фоні "умовчання" якісної компоненти або вважаючи, що якісні зміни у впливі не суттєві (якщо порівнювати якісні дії окремих поллютантів у суміші, що забруднюють). Адитивну дію доцільно розглядати як гіпотетичний випадок, який можна використовувати при аналітичних розрахунках, схематичних формалізаціях, тощо.

Синергетична дія може проявлятися по-різному. На перших етапах впливу вона подібна до адитивної дії згідно законів Л — системи (системи Лібіха). Потім викликають якісно-кількісні наслідки та зміни згідно загальних та окремих законів функціонування системи "організм-середовище", а саме: закону сукупної дії факторів (закон фізіологічних дій); закону нерівноцінної (селективної) дії фактору на різні функції організму; правила або закону фазових реакцій: тимчасовий → гомеостаз (невизначена реакція) гормезис → (стимулювання) → інгібування → летальний кінець; закону Боуліча ("все або нічого"); закону суб'єктивної кількісної оцінки збудника Вебера — Фехнера [3, 4].

В даній роботі явище синергізму розглядали стосовно фітокомпоненту на рівні агродемпопуляції ячменю ярого, порівнюючи вплив селективної та сумісної дії солей Pb, Cd, Zn, Cu, при встановленні залежності фітометричних показників (пригнічення росту та накопичення фітомаси культурою) від концентрації рухомих та потенційно рухомих форм ВМ у ґрунті.

Матеріали і методи

Досліджували ґрунти: дерново-середньопідзолистий супіщаний (рН сол. — 5,5, гідролітична кислотність 2,7 мг-екв./100 г, вміст гумусу за Тюрінім 0,87%, ступінь насиченості основами 58%) та чорнозем типовий малогумусний (рН сол. — 6,2, ступінь насиченості основами 82,3%, вміст гумусу 2,89%) під посівом ячменю ярого. Дослідження проводили на базі Чернігівського інституту АПВ УААН.

Схема вегетаційного дослідження передбачала внесення солей ВМ у ґрунт за схемою: 1. Контроль; 2, 3, 4 — Cu: 5 ГДК (500 мг/кг ґрунту), 10 ГДК (1000 мг/кг), 15 ГДК (1500 мг/кг); 5, 6, 7 — Zn: 5 ГДК (1500 мг/кг), 10 ГДК (3000 мг/кг), 15 ГДК (4500 мг/кг); 8, 9, 10, 11, 12, 13 — Cd: 5 ГДК (15 мг/кг), 10 ГДК (30 мг/кг), 15 ГДК (45 мг/кг), 30 ГДК (90 мг/кг), 50 ГДК (150 мг/кг), 100 ГДК (300 мг/кг); 14, 15, 16, 17, 18 — Pb: 5 ГДК (150 мг/кг), 10 ГДК (300 мг/кг), 15 ГДК (450 мг/кг), 30 ГДК (900 мг/кг), 50 ГДК (1500 мг/кг).

Схема польового дослідження: 1. Контроль; 2. 0,5 ГДК солей Zn, Cd, Cu, Pb; 3. 1ГДК солей Zn, Cd, Cu, Pb; 4. 5 ГДК солей Zn, Cd, Cu, Pb.

При закладенні дослідів були використані наступні солі $Pb(NO_3)_2$, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, $CuSO_4 \cdot 7H_2O$, $CdSO_4$. Закладка та проведення польового дослідження проводили відповідно до загально прийнятих методик [8, 9]. Екстракцію рухомих та потенційно рухомих форм Cd, Pb, Cu, Zn проводили 1 Н HCl з подальшим визначенням хроматографічним методом в тонкому шарі адсорбенту [5].

Для дослідження динаміки росту та накопичення фітомаси (загальної, генеративної) використовували середнє значення висоти та фітомаси в межах однієї агродемпопуляції, яка в нашому випадку являє собою сукупність особин тест-культури на одиницю площі з певною концентрацією рухомих та потенційно рухомих форм металу або суміші поллютантів у ґрунті. Для оцінки суттєвості окремих різниць у дослідях застосовували однофакторний дисперсійний аналіз, обраховуючи значення найменшої суттєвої різниці (НСР5%).

Результати та їх обговорення

Для виявлення синергетичної дії важких металів проводили порів-

няння фітотоксичності кожного елементу та суміші політантів. Для цього були встановлені діапазони токсикотолерантності за умов моно- та мультиметалічного забруднення стосовно ячменю ярого. Діапазон токсикотолерантності являє собою частину кривої толерантності Шелфорда та є діапазоном концентрацій певного металу (або суміші ВМ), верхньою межею якого є значення концентрації рухомих форм металу (суміші ВМ) в ґрунті, при якому не відбувається пригнічення росту та накопичення фітомаси культурою (кінець оптимуму кривої толерантності), а нижньою межею є концентрація рухомих форм металу (суміші ВМ) в ґрунті, що призводить до загибелі рослин (песимум). Для порівняння токсичної дії металів у межах усього діапазону токсикотолерантності користувались 0%, 10%, 50%, 75%, 100% порогами фітотоксичності (пригнічення фітомаси) (табл.1).

Найбільш токсичним по відношенню до ячменю виявився кадмій, який мав найширший діапазон токсикотолерантності та найменший нижній поріг фітотоксичності (табл.1). Найменшою фітотоксичністю характеризувався свинець: концентрація металу, що викликала загибель рослин, була найбільшою серед досліджуваних елементів. За значенням концентрації (отже і за токсичністю) при 10%, 50%, 75% пригніченні висоти та фітомаси досліджувані метали розташувались

у такій же послідовності, що і при 0 і 100% порогах фітотоксичності. Виключення складав цинк, який характеризується високим значенням нижнього порога, що, ймовірно, пов'язано із його високою біофільністю.

Розташування металів за значеннями порогів фітотоксичності для генеративної фітомаси (зерна) в ґрунті було аналогічним до розташування їх фітотоксичності для загальної фітомаси. Однак пороги фітотоксичності для генеративної фітомаси були меншими, оскільки ступінь чутливості зерна до стресового фактора більший порівняно із загальною фітомасою, що визначається законом алопатичної детоксикації: відновлення втраченого рівня накопичення генеративної фракції фітомаси до контрольного рівня буде відбуватися повільніше, ніж у решті фракцій.

Значення діапазонів токсикотолерантності на чорноземі типовому в межах кожного металу вищі, ніж на дерново-середньопідзолистому ґрунті, що пояснюється більшою геохімічною ємністю, а, як наслідок, і буферністю до металічного забруднення чорнозему.

Для дослідження токсичної дії суміші даної комбінації металів та порівнянні її з токсичністю окремого металу (в тому числі явищ синергізму) користувались сумою концентрацій рухомих форм окремого металу, частка кожного з яких у суміші відома.

Були встановлені діапазони токсикотолерантності для суміші металів по відношенню до висоти та загальної фітомаси рослин, які складали 69,2 — 660,0 мг/кг на дерново-середньопідзолистому ґрунті та 80-1110 мг/кг на чорноземі типовому (табл.2).

Як і у випадку селективного імпактного забруднення, діапазони токсикотолерантності генеративної фітомаси менші порівняно до значення діапазонів загальної фітомаси та висоти.

Завдяки більшій геохімічній ємності чорнозему його пороги фітотоксичності, в тому числі і загибельної дії для тест-культури, були більшими, ніж на дерново-середньопідзолистому ґрунті.

Для визначення синергетичної дії порівнювали прямі, що побудовані за трьома точками діапазону токсикотолерантності (10%, 50%, 100% порогами фітотоксичності) кожного металу та їх суміші (рисунок). Пряма залежності загальної фітомаси від концентрації суміші металів знаходиться між прямими, що показують залежність фітомаси від концентрації рухомих форм Cu, Cd та Pb, Zn на обох досліджуваних ґрунтах. Це свідчить, що у суміші ВМ вплив найтоксичніших металів кадмію та міді на рослини зменшується, тобто має місце нігілятивна або дивергентна дія як прояв синергізму. Найменш токсичні метали для ячменю Pb та Zn у суміші мають більшу фітотоксичність, що вказує

Таблиця 1

Пороги фітотоксичності важких металів (за рухомими формами) по відношенню до ячменя ярого

Пороги пригнічення	Концентрація в ґрунті, мг/кг							
	Cd		Cu		Zn		Pb	
	Ф заг	Ф гнр	Ф заг	Ф гнр	Ф заг	Ф гнр	Ф заг	Ф гнр
Дерново-середньопідзолистий ґрунт								
0%	9,5	4	49	45	330	320	170	110
10%	17	12	60	58	370	360	210	190
50%	70	53	119	112	590	460	650	570
75%	120	92	151	142	680	660	970	890
Поріг летальності	156	137	185	177	770	750	1220	1170
Чорнозем типовий малогумусний								
0%	13	12	55	50	380	340	200	180
10%	21	20	71	65	440	400	280	220
50%	78	65	135	128	650	610	700	610
75%	130	110	185	160	750	720	990	910
Поріг летальності	170	139	189	183	830	770	1270	1180

Примітки: Ф заг — загальна фітомаса, Ф гнр — генеративна фітомаса.

Таблиця 2

Пороги пригнічення росту та накопичення
фітомаси в умовах мультиметалічного забруднення

Пороги пригнічення:	Концентрація суми рухомих форм ВМ у ґрунті, мг/кг	
	загальна фітомаса, висота	генера- тивна фітомаса
Дерново-середньопідзолистий ґрунт		
0%	69,2	40
10%	100,0	55
50%	300,0	240
75%	500,0	425
Поріг летальності	600,0	625
Чорнозем типовий малогумусний		
0%	80,0	55
10%	130,0	100
50%	460,0	400
75%	790,0	640
Поріг летальності	1110,0	850

на наявність потенційованої їх дії в умовах мультиметалічного забруднення (рисунок). Збільшення фітотоксичності цинку за мультиметалічного забруднення також можна розглядати як дивергентну дію, оскільки збільшений ефект може бути якісно іншим за характером дії в зв'язку із хімічною близькістю кадмію, що знаходиться у суміші та заміщує цинк у фізіологічних процесах як елемент-аналог.

Висновки

1. Встановлено наступний низхід-

ний ряд фітотоксичності важких металів стосовно ячменю ярого: $Cd > Cu > Zn > Pb$.

2. Виявлена закономірність алопатичної детоксикації, яка полягає у більш інтенсивному пригніченні та більш повільному відновленні втраченого рівня накопичення фітомаси у генеративної фракції (зерні) порівняно до загальної фітомаси.
3. В зв'язку із вищою геохімічною ємністю фітотоксична дія Cd , Cu , Zn , Pb при моно- та мультиметалічному забрудненні на чор-

ноземі типовому малогумусному менша, ніж на дерново-середньопідзолистому ґрунті.

4. Виявлено синергетичну дію суміші Cd , Pb , Zn , Cu стосовно ячменю ярого. Найменш токсичні метали Pb та Zn у суміші мають більшу фітотоксичність, що вказує на наявність потенційованої їх дії в умовах мультиметалічного забруднення. Вплив найтоксичніших металів кадмію та міді на рослини зменшується, тобто має місце нігілятивна дія як прояв синергізму.

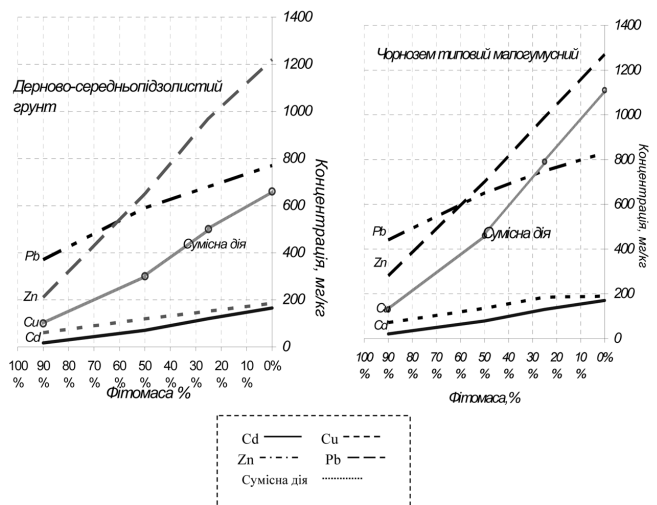


Рис. Вплив окремо та сумісно внесених ВМ на фітопродуктивність ячменю ярого в умовах дерново-середньопідзолистого ґрунту та чорнозема типового малогумусного

ЛИТЕРАТУРА

1. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. — К., 2000. — 408 с.
2. Снакин В.В. Экология и охрана природы: Словарь-справочник. — М.: Academia, 2000. — 384 с.
3. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) — М.: "Россия молодая", 1994. — 367 с.
4. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. — М.: Мысль, 1990. — 638 с.
5. Методичні вказівки по визначенню Hg , Zn , Co , Cd , Cu , Ni в ґрунті, рослинах, у воді методом тонкошарової хроматографії № 50-97 від 19.06.97.

Н.А.Рыженко, В.М.Кавецкий

ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ Cd , Cu , Zn , Pb В УСЛОВИЯХ МОНО- И МУЛЬТИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ

В работе установлено нисходящий ряд фитотоксичности тяжелых металлов относительно ячменя ярого: $Cd > Cu > Zn > Pb$. Выведено синергетическое действие смеси Cd , Pb , Zn , Cu по отношению к ячменю яровому. Наименее токсические металлы Pb и Zn в смеси имеют большую фитотоксичность, что указывает на наличие их потенцированного действия в условиях мультиметаллического загрязнения. Установлено, что влияние наиболее токсичных металлов Cd и Cu на растения уменьшается, то есть имеет место нигиляция как проявление синергизма.

N.O.Ryzenko, V.M.Kavetsky

ASSESSMENT OF Cd , Cu , Zn , Pb PHYTOTOXICITY AT THE CONDITION OF SINGLE AND COMBINE HEAVY METALS POLLUTION OF ORGANIC SOIL

The article deals with the illustration of four possible types of synergism including exponentiation, nihilism, divergence and with the additivity concludes all spectrum of pollutants joint action. It was established the descending raw of the heavy metals toxicity concerning to the spring barley: $Cd > Cu > Zn > Pb$. The synergism of Cd , Pb , Zn , Cu mix had been revealed. The least toxically metals Pb and Zn in the mix had more phytotoxicity that demonstrates their exponentiation in heavy metals mix. It had been determined decreasing of influence of most toxically metals Cd and Cu on plant evidenced of nihilism as a synergism demonstration.