УДК 581.4/.9:574.24

ВПЛИВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ І КИСЛИХ ГАЗІВ НА ПОЧАТКОВІ СТАДІЇ РОЗВИТКУ *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. У МОДЕЛЬНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАХ

С.О. Яковлєва-Носарь

Запорізький національний університет

Изучено влияние тяжелых металлов (Fe^{2+} 40 мг/л, Cr^{6+} 7 мг/л) и газации хлороводородом (300 мг/м^3) по отдельности и совместно на энергию и динамику проростания семян *Robinia pseudoacacia* L., а также на ростовые процессы вегетативных органов проростков этого вида.

Динамика и энергия прорастания семян, Robinia pseudoacacia, тяжелые металлы, хлороводород, ростовые процессы, вегетативные органы

ВСТУП

Проростання насіння є важливішим етапом онтогенезу рослин, оскільки від успішності перебігу цього процесу в значній мірі залежить їх подальший ріст і розвиток. Відомо, що на проростання насіння впливають різноманітні фактори оточуючого середовища: рівень обводнення як пусковий фактор проростання [9], температура [25 та ін.]; освітлення [30]; сольовий режим довкілля [38]; трофічна діяльність комах [1], мікромамалій [3], птахів, можливість ураження патогенами.

До цього переліку слід додати також такий екологічний фактор, що в еволюційному контексті порівняно нещодавно набув вагомого значення, як забруднення оточуючого природного середовища. Отже, забруднення природного середовища виступає як лімітуючий чинник насіннєвого поновлення лісових екосистем. Але вплив різноманітних інгредієнтів промислових емісій на проростання насіння і перші етапи онтогенезу деревних едифікаторів вивчено дуже слабко.

Здебільшого в літературі мають місце роботи з вивчення впливу токсикантів на проростання насіння трав'яних рослин: сільськогосподарських видів [19, 29, 40], декоративних квіткових [22], газонних трав [15], які виконані за лабораторних умов. Тому істотний інтерес становить дослідження впливу токсикантів на початкові стадії розвитку деревних рослин. З огляду на це, метою нашої роботи було вивчення впливу

кожного з токсикантів (Cr^{6+} і Fe^{2+}) й кислого газу – хлороводню (HCl) та їх сумісної дії на показники проростання насіння і ростові процеси проростків однієї з основних лісоутворюючих деревних порід південного сходу України – *Robinia pseudoacacia* L.

УМОВИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як об'єкт дослідження використовували насіння та проростки *Robinia pseudoacacia* L. (родина *Fabaceae* Lindl.). Проби насіння відбирали з гілок одного порядку галуження декількох середніх дерев з південно-східного боку середньої частини крон. Ділянка, на якій здійснювався відбір насіннєвого матеріалу, розташована на відстані 20 км (проти рози вітрів) від промислового майданчика м. Запоріжжя. Вік культурфітоценозу 30–35 років.

Для вивчення дії важких металів на рослинний об'єкт використовувалися розчини з концентрацією діючого елемента Fe^{2+} – 40 мг/л, Cr^{6+} – 7 мг/л. Джерелом Fe^{2+} була сіль $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, а Cr^{6+} – $K_2Cr_2O_7$. Газацію у відповідних варіантах проводили, починаючи з першої доби закладення експерименту. Діюча концентрація хлористого водню у камері складала 300 мг/м^3, час експозиції – 7 год щодня. У кожному з дослідних варіантів аналізувалося по 90 насінин. Дані опрацьовані статистично [7].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Схожість насіння є одним із найважливіших видів оцінки якості насіння, тому що з різним ступенем схожості пов'язані норми висіву і низка біологічних особливостей посівного матеріалу. Проростання розглядають як появу та формування із зародка насіння важливіших структур, які визначають здатність зародка розвитися у ґрунті в нормальну рослину за сприятливих умов [4, 34]. Зазвичай кількість пророслого насіння у лабораторних умовах більша, ніж у польових. Проте одержаний при пророщуванні за найбільш сприятливих умов відсоток схожості насіння показує число проростків, яке можна отримати з насіння за сприятливих умов [14].

Як видно з рис. 1, токсиканти у використаних концентраціях не виявляли негативної дії на проростання насіння такої деревної породи, як *R. pseudoacacia*. Виключення складає варіант із одночасною фумігацією насіння газом HCl і додаванням у живильне середовище сполуки Fe^{2+} у

концентрації 40 мг/л. Схожість насіння у цьому варіанті на 15-у добу від початку експерименту становить 81,5 % від норми.

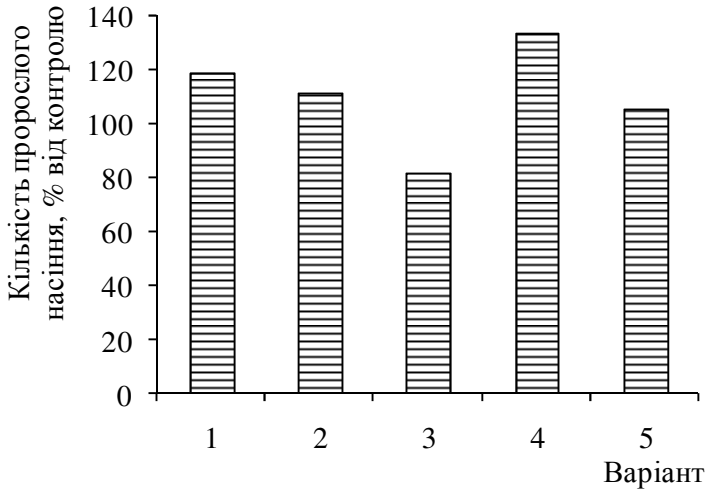


Рисунок 1 – Вплив токсикантів на проростання насіння *R. pseudoacacia* (15-а доба): 1 – Fe^{2+}, 2 – Cr^{6+}, 3 – Fe^{2+} + HCl, 4 – Cr^{6+} + HCl, 5 – HCl

Проростання насіння *R. pseudoacacia* у своєму кількісному виявленні було на рівні контрольних величин у варіантах з Cr^{6+} і HCl (у % від контролю відповідно): 111,1 і 105,6 %. Решта досліджених забруднювачів (Fe^{2+}, Cr^{6+} + HCl) спричиняла навіть стимулюючий ефект на цей показник (рис. 1). Подібне явище, імовірно, пояснюється тим, що використані сполуки вплинули на руйнування насіннєвої оболонки (кислотна скарифікація), або виступили у ролі мікроелемента (стосується заліза). Це і надало можливість насінню проростати більш інтенсивно, ніж у контролі.

Слід зазначити, що у роботах Т.І. Юсипівої [21] та В.П. Бессонової, Т.І. Юсипівої [2] такі фітотоксиканти, як Fe^{2+}, Cr^{3+}, Pb^{2+}, а також SO_2 і NO_2 у концентрації 0,4 мг/м^3 виявляють незначний вплив на проростання насіння *G. triacanthos*. На той час як *R. pseudoacacia* виявила більшу чутливість за цим показником. Автори дійшли до висновку, що тільки схожість не може слугувати основним параметром стійкості рослин до забруднюючих агентів.

Під впливом SO_2 зменшується здатність до проростання насіння у *Picea abies* (L.) Karst. і *Fagus sylvatica* L. [33].

Але у багатьох працях показана і стимуляція проростання насіння рослинних об’єктів за дії різних фітотоксикантів. На відсутність впливу важкого металу (Cd^{2+}) на етапі проростання насіння *Lepidium sativum* L. вказують А.А. Сюмка зі співавт. [19]. При цьому в подальшому використані

концентрації сполук ($Cd(NO_3)_2$ і $CdSO_4$, $9\cdot10^{-3}$, $9\cdot10^{-4}$, $9\cdot10^{-5}$ М) істотно гальмували ростові процеси осьових органів тест-культури. За умов лабораторного експерименту встановлено, що Cd^{2+} у досліджених концентраціях ($2\cdot10^{-5}$, $2\cdot10^{-4}$, $2\cdot10^{-3}$, $2\cdot10^{-2}$ М) пригнічував проростання *Pinus sylvestris* L. Так, енергія цього процесу зменшувалася в межах 58–92 %, а схожість – 48–91 % порівняно з нормою [11]. Аналогічний напрямок змін цих параметрів спостерігається при висіванні насіння *R. pseudoacacia*, відібраного у зоні емісій Донецького металургійного заводу, у ґрунт, який забруднений інгредієнтами викидів даного промислового об'єкта [12].

У дослідах із різними концентраціями SO_2 встановлена стимуляція проростання насіння *Eulaliopsis binata* (Retz.) Hubbard. [48].

Проростання насіння і початкові фази онтогенезу деревних порід за умов промислового забруднення освітлені у літературних джерелах значно гірше.

За контрольованих умов підвищений вміст важких металів (Ni, Cu, Co) у верхніх горизонтах ґрунту не виявляв помітного впливу на проростання насіння хвойних порід [17, 20].

За свідченням деяких авторів [23, 36, 42, 46] у таких хвойних, як *Picea abies* (L.) Karst., *P. rubens* Link., *Pinus sylvestris* L., *P. banksiana* Lam., *Abies balsamea* (L.) Mill. підвищена кислотність субстрату (pH < 3,5–4) викликає зниження схожості насіння і збільшення відпаду сходів. При цьому найбільш уразливою є стадія вкорінення проростків. У деяких видів деревних рослин проростання насіння відбувається навіть при pH 2,5–3, але практично всі сходи згодом гинуть внаслідок недорозвинення коренів і ерозії покривних тканин гіпокотилю [18, 23, 42]. У роботі інших дослідників [45] встановлено, що показники життєздатності насіння і проростків *Tsuga canadensis* (L.) Carr. не змінюються у дуже кислому середовищі, а проростання насіння *Pinus strobus* L. стимулюється при pH < 3,0. Такі результати, можливо, пов'язані з тим, що автори використовували у досліді інші види хвойних рослин.

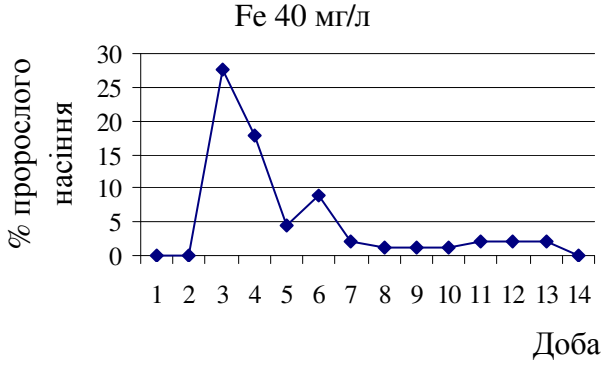
Одержані нами дані щодо динаміки проростання насіння *R. pseudoacacia* представлені на рис. 2. При вивченні зміни цього параметра за умов надлишкових концентрацій фітотоксикантів було встановлено, що у всіх експериментальних варіантах проростання насіння відбувалося на 3-ю

добу від початку дослідів. Аналіз динаміки проростання насіння у контролі свідчить про наявність двох основних максимумів: на 3-ю і 8-у доби. У подальшому фіксується зниження активності проростання насіння цього виду.

У варіанті із застосуванням надлишку Fe^{2+} перший пік проростання спостерігається на 3-ю добу, а другий – на 6-у. Проте, якщо у контролі закінчення проростання насіння зареєстровано на 13-у добу, то у цьому варіанті – на 14-у. Початок проростання насіння у дослідному варіанті з Cr^{6+} співпадає із першим максимумом (3-я доба). Другий пік відмічається на 5-у добу експерименту.

Дещо інша картина характерна для сумісної дії Fe^{2+} і HCl. У цьому варіанті максимуми проростання насіння *R. pseudoacacia* виявлені на 3-ю і 6–7-у добу. Закінчення його проростання встановлено на 15-у добу. У варіантах, де на насіння впливає одночасно Cr^{6+} і HCl, та тільки HCl, хід графіку проростання має такий характер: у першому випадку пік процесу припадає на 4-у добу, у другому – на 3-ю. Крім того, проростання насіння *R. pseudoacacia* за умов газації HCl є дещо розтягнутим у часі порівняно з контролем (рис. 2).





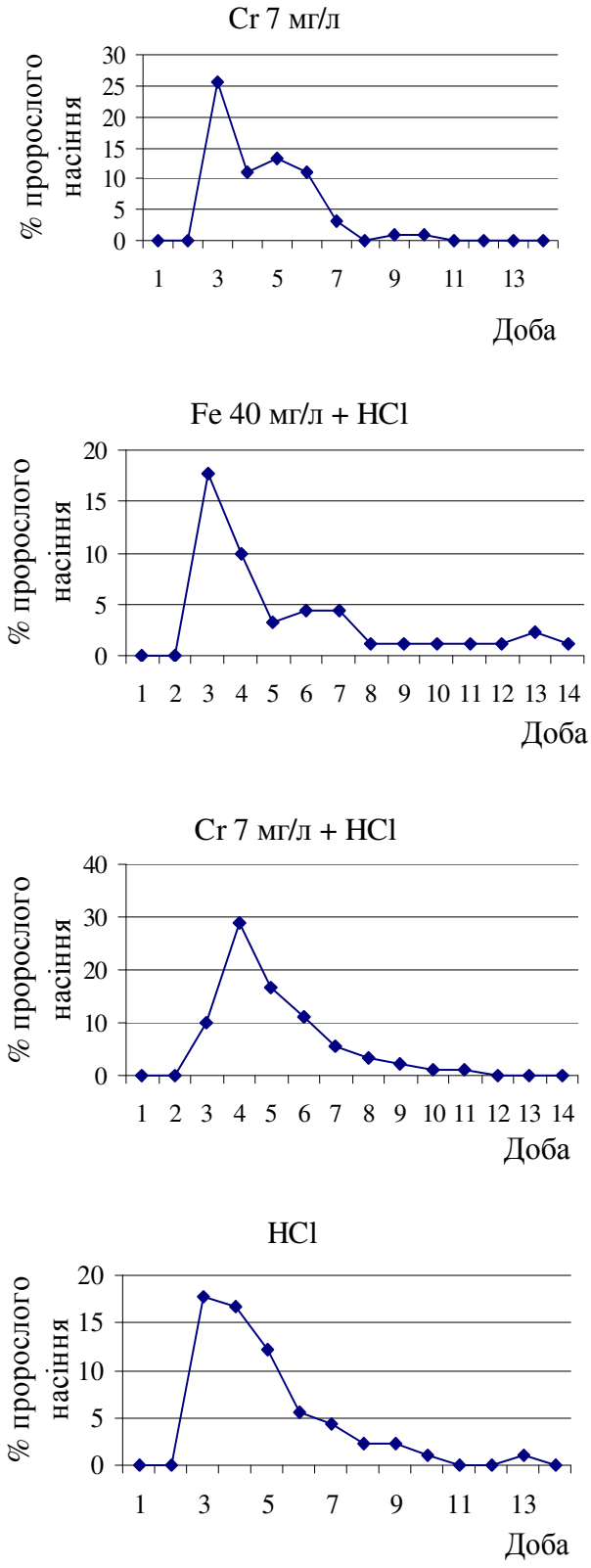


Рисунок 2 – Вплив надлишку Fe^{2+} та Cr^{6+} на фоні обкурювання HCl на динаміку проростання насіння *Robinia pseudoacacia*

Таким чином, проростання насіння *R. pseudoacacia* у варіантах із додаванням Fe^{2+}, газацією HCl та сумісною дією фітотоксикантів Fe^{2+} + HCl є більш розтягнутим у часі, ніж у контрольному.

Важливим показником, який характеризує дружність сходів, є енергія проростання насіння. При дослідженні впливу надлишкових концентрацій забруднювачів на цей показник встановлено, що у дослідних варіантах він істотно не відрізнявся від контролю.

Отже, додавання важких металів (Fe^{2+}, Cr^{6+}) у середовище вирощування, а також обробка насіння *R. pseudoacacia* кислим газом (HCl) не виявили чітко вираженого негативного ефекту на процеси його проростання. Тільки за сумісної дії таких токсикантів, як Fe^{2+} і HCl спостерігалося падіння схожості насіння та розтягнутість процесу проростання у часі на 2 доби порівняно із нормою. Енергія проростання насіння у дослідних варіантах практично була на рівні контрольних величин. Ці факти свідчать про те, що характеристики проростання насіння за умов забруднення довкілля не можуть бути єдиним джерелом інформації стосовно рівня негативного впливу інгредієнтів техногенного походження на насіннєве поновлення. У зв'язку з цим нами досліджена дія вищенаведених фітотоксикантів на комплекс морфобіометричних показників проростків *R. pseudoacacia*.

Загальна схема морфологічних проявів страждання рослин від "металічного" стресу є більш-менш однаковою для різних видів. За даними В. Бусслера [27], при поступовому зростанні концентрації іонів у середовищі спостерігається послідовна поява ознак пригнічення рослинного організму: I стадія – гальмування росту; II – хлороз листків; III – некрози асиміляційних органів; IV – відмирання коренів. Якщо на рослини одразу діє високий рівень важкого металу, то проявляються ознаки третьої та четвертої стадій, проминаючи симптоми перших двох.

Інші дослідники вказують на залежність інгібіторного ефекту дії важких металів на ріст органів, і в першу чергу коренів, від дози, природи фітотоксиканту, pH розчину, способу обробки, часу експозиції, виду рослини [39, 41, 24] та ін. Крім того, картину токсичної дії цієї групи елементів на рослини ускладнюють явища синергізму й антагонізму, а також фактори довкілля: температура, вологість повітря і ґрунту, інтенсивність освітлення тощо [13].

Слід відзначити, що наведені у літературі дані переважно відносяться до проростків сільськогосподарських рослин. Дані стосовно впливу важких металів на ріст проростків деревних культур нечисленні. А дослідження подібного роду є важливими з точки зору інформації щодо толерантності рослин на ранніх етапах їх розвитку. Гальмування росту – один із самих перших і загальних для всіх рослин симптомів страждання від надлишку важких металів проявляється в першу чергу на коренях [13]. Іншими словами, ріст коренів є раннім морфологічним індикатором фітотоксичного ефекту важких металів, тому дослідження цього показника є вкрай необхідними [32].

Що ж стосується газоподібних полютантів, то за свідченням В.С. Ніколаєвського [8], вони викликають порушення, близькі до ініційованих важкими металами. Ступінь цих порушень залежить від токсичності і концентрації газів, часу дії та міри стійкості видів.

Серед факторів, які впливають на реакцію рослин у відповідь на забруднення кислими газами, вчені називають температуру, відносну вологість повітря і ґрунтову вологу, світло, постачання живильними речовинами, вік і стадію розвитку рослин, генетичну стійкість [6]. Дослідження, присвячені вивченню дії токсичних газів, стосуються здебільшого видимих пошкоджень асиміляційного апарату, в меншій мірі – зміни росту надземної частини і врожайності. Ростові реакції кореневих систем проростків і віргінільних рослин вивчені недостатньо. Ті нечисленні дані, які мають місце в літературі, стосуються численних сільськогосподарських об’єктів: *Lycopersicon esculentum* Mill. [43], *L. esculentum*, *Solanum melongena* L., *Hibiscus esculentus* L. [37] та ін., а також газонних трав [15].

Враховуючи всі вищенаведені факти, істотний інтерес становить вивчення як окремої, так і сумісної дії важких металів і кислих газів на ріст коренів проростків деревних рослин. Нами досліджений вплив надлишку Cr^{6+} і Fe^{2+}, а також газації HCl на динаміку росту коренів *R. pseudoacacia* на ранніх етапах онтогенезу. В результаті проведених експериментів з вивчення фітотоксичності Fe^{2+} в середовищі вирощування встановлено, що на початку експозиції проростків довжина коренів дослідних рослин мало відрізнялася від контрольних (табл. 1). Це стосується і варіанта з сумясною дією Fe^{2+} та HCl. У подальшому спостерігається істотне пригнічення ростових процесів

коренів проростків, що найбільш виражене за сумісної дії важкого металу і газу. Так, якщо на 12-у добу довжина коренів проростків *R. pseudoacacia* за дії надлишку Fe^{2+} складала 71,52 % від норми, то за одночасного впливу Fe^{2+} та HCl – лише 36,29 %.

Найменше на досліджений показник впливає обкурювання HCl. Довжина кореня проростків у цьому варіанті впродовж експерименту складає 80,00; 47,01 і 46,62 % від значень параметра у контрольних рослин.

Аналіз ростової реакції коренів на дію надлишку Cr^{6+} і сумісного впливу Cr^{6+} та HCl показав близькі величини. Так, на 3-ю добу значення довжини кореня у варіанті із додаванням сполуки Cr^{6+} становили 65,88 % від контрольних; на 8-у добу – 37,92 %; на 12-у – 37,76 % (табл. 1). Тобто вже з самого початку досліду простежується доволі виражене інгібування росту кореня, яке підсилюється протягом експозиції.

Таблиця 1 – Вплив фітотоксикантів на ріст кореня проростків *R. pseudoacacia*, $t_T = 2,0$

Варіант	Доба	Довжина кореня, см	% від контролю	t
Контроль	3	0,85±0,066	—	—
Fe^{2+}	3	0,94±0,051	110,59	1,08
Cr^{6+}	3	0,56±0,030	65,88	4,03
Fe^{2+} + HCl	3	0,78±0,057	91,76	0,80
Cr^{6+} + HCl	3	0,67±0,033	78,82	2,43
HCl	3	0,68±0,033	80,00	2,30
Контроль	8	4,51 ±0,172	—	—
Fe^{2+}	8	3,35±0,098	74,28	5,83
Cr^{6+}	8	1,71±0,077	37,92	14,81
Fe^{2+} + HCl	8	1,72±0,109	38,14	13,95
Cr^{6+} + HCl	8	1,45±0,069	32,15	16,45
HCl	8	2,12±0,090	47,01	12,26
Контроль	12	4,74±0,151	—	—
Fe^{2+}	12	3,39±0,092	71,52	7,63
Cr^{6+}	12	1,79±0,066	37,76	17,88
Fe^{2+} + HCl	12	1,72±0,053	36,29	18,76
Cr^{6+} + HCl	12	1,42±0,046	29,96	21,02
HCl	12	2,21±0,082	46,62	14,71

Ступінь пригнічення росту коренів проростків *R. pseudoacacia* за одночасної дії важкого металу Cr^{6+} та кислого газу на 3-ю добу виражений менше, ніж у попередньому варіанті. Даний показник складає 78,82 % від

контролю. Але впродовж експерименту спостерігається істотне інгібування ростових процесів коренів вивчаємої деревної породи. Якщо на 8-у добу аналізуємий параметр має значення 32, 15 %, то на 12-у – 29,96 % від норми.

Отже, сумісна дія Cr^{6+} та кислого газу (HCl) в більшій мірі гальмує ріст коренів проростків *R. pseudoacacia*, ніж це виражено у варіанті із надлишком Cr^{6+}.

Для кількісного порівняння металостійкості окремих видів і внутрішньовидових рас різноманітних рослин звичайно користуються методом кореневого тесту, запропонованого Д. Уілкінсом [47]. Його ще називають кореневим індексом або індексом толерантності [13]. Індекс стійкості (I_t) – відношення приросту кореня на середовищі, яке містить метал, до приросту кореня на розчині без металу [35]. Кореневий індекс дозволяє порівнювати ступінь впливу важких металів на різні види рослин, тому він широко використовується багатьма дослідниками для оцінки фітотоксичності цієї групи елементів.

На думку В. Петерсона і У. Хедреярва [10], у кореневому індексі відбивається особливість протекторного захисту рослин, що локалізований у меристемній зоні кореня і являє собою продукування у відповідь на стрес особливих протекторних білків (фосфопротеїдів). Закономірність є такою, що чим вище величина кореневого індексу, тим стійкіша рослина до важкого металу. Застосування кореневого тесту при порівнянні токсичності кожного з металів Fe^{2+} і Cr^{6+}, та їх бінарної дії з HCl у нашому досліді показало, що найменший вплив на ріст коренів проростків *R. pseudoacacia* виявляє Fe^{2+} (рис. 3).

На 12-у добу досліду значення кореневого індексу склало 0,72. На другому місці за вираженням інгібуючої дії на ростові процеси кореня розташовується HCl. Наприкінці експозиції проростків (12-а доба) величина індексу толерантності становила 0,47. В інших експериментальних варіантах значення цього показника мало відрізнялися між собою і були значно нижчими, ніж за дії Fe^{2+} та у варіанті із фумігацією HCl. Так, за надлишку Cr^{6+} в середовищі вирощування індекс стійкості (на 12-у добу) дорівнював 0,38; за сумісної дії Fe^{2+} та HCl – 0,36; у варіанті Cr^{6+} + HCl – 0,30. В міру зниження пригнічуючого ефекту на ріст кореня досліджені токсиканти можна ранжувати наступним чином: Cr^{6+} + HCl > $Cr^{6+} \geq Fe^{2+}$ + HCl > HCl > Fe^{2+}.

Деякі автори пропонують використовувати для оцінки металостійкості рослин поряд із кореневим індексом і зміну довжини гіпокотилю [44]. Ш.Л. Чен і Х. Рао [28] повідомляють, що солі Cd інгібували ріст коренів *Oryza sativa*, але не впливали на ріст стебла.

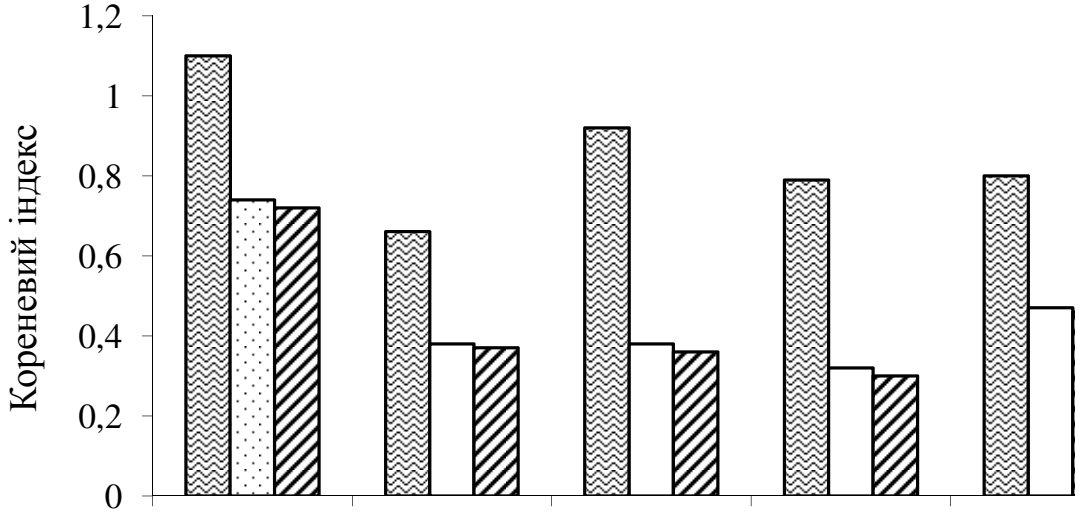


Рисунок 3 – Вплив токсикантів на кореневий індекс проростків *R. pseudoacacia:* I – Fe^{2+}; II – Cr^{6+}; III – Fe^{2+} + HCl; IV – Cr^{6+} + HCl; V – HCl; 1 – 3-я доба; 2 – 8-а доба; 3 – 12-а доба

За нашими даними, присутність токсикантів у середовищі вирощування достовірно гальмувала ростові процеси гіпокотилю *R. pseudoacacia* вже на 8-у добу експерименту (табл. 2). Слабкий ефект відзначався у варіантах із додаванням у живильне середовище Fe^{2+} 40 мг/л, Cr^{6+} 7 мг/л і газації HCl. Довжина підсім'ядольного коліна становила відповідно 93,15; 91,69; 93,76 % від норми. Дещо сильніше зменшувався цей показник при одночасному застосуванні важких металів і газу.

Зі збільшенням терміну росту рослин за стресових умов спостерігається наростання інгібуючого впливу токсикантів. Темпи приросту гіпокотилю за 4 доби у даних варіантах скоротилися в межах 12–13 % порівняно з 8-ю добою. Якщо ж розглядати ростові реакції вивчаємого осьового органа відносно контрольних значень, то істотніші зміни у величині гіпокотилю характерні для таких варіантів: Cr^{6+} + HCl; Cr^{6+}; Fe^{2+} + HCl. Значення даного параметра майже однакові у цих варіантах і становлять, відповідно, 73,52; 78,71 і 79,25 %.

Слід зазначити, що інші автори також спостерігали пригнічення росту підсім'ядольного коліна проростків за дії важких металів. Зокрема, інгібування ростових процесів цього вегетативного органу відзначалося у

проростків таких сільськогосподарських культур, як *Vigna mungo* L., *Phaseolus vulgaris* L. та *Sesamum indicum* L. за дії Pb^{2+} у концентрації 10^{-2} М [26].

Таблиця 2 – Вплив токсикантів на ріст гіпокотилю сходів *R. pseudoacacia* $t_T = 2,0$

Варіант	Доба	Довжина гіпокотилю, см	% від контролю	t
Контроль	8	4,33±0,106	–	–
Fe^{2+}	8	3,99±0,066	93,15	2,83
Cr^{6+}	8	3,97±0,063	91,69	2,92
Fe^{2+} + HCl	8	3,84±0,060	88,68	4,08
Cr^{6+} + HCl	8	3,75±0,048	86,61	5,00
HCl	8	4,06±0,082	93,76	2,01
Контроль	12	5,59±0,089	–	–
Fe^{2+}	12	4,89±0,056	87,48	6,67
Cr^{6+}	12	4,40±0,081	78,71	9,92
Fe^{2+} + HCl	12	4,43±0,077	79,25	9,83
Cr^{6+} + HCl	12	4,11±0,062	73,52	13,70
HCl	12	4,55±0,065	81,40	9,45

Порівняння росту коренів і гіпокотилю *R. pseudoacacia* дає змогу прийти до висновку, що корінь виявляє більшу чутливість до негативного впливу токсикантів. Велика відмінність у пригніченні ростових процесів цих двох вегетативних органів спостерігається при застосуванні Cr^{6+} (40,95 %), Fe^{2+} + HCl (42,96 %) і Cr^{6+} + HCl (43,56 %) на 12-у добу досліду.

На наш погляд, це пояснюється концентруванням металів у коренях. Нагромадження важких металів у коренях розглядається у літературних джерелах як один із захисних механізмів, які перешкоджають пересуванню токсикантів до інших органів рослин [31].

Сім’ядолям належить важлива роль у розвитку проростків на початкових етапах росту. Вони виконують двояку функцію: по-перше, містять запас поживних речовин, необхідний для проростання насіння [16]; по-друге, при надземному проростанні, як у *R. pseudoacacia*, сім’ядолі піднімаються над поверхнею ґрунту в результаті росту гіпокотилю і перетворюються на зелені сім’ядольні листки, що здатні до фотосинтезу [5]. У зв’язку з цим певний інтерес становить вивчення зміни площі сім’ядолей під впливом використаних нами токсикантів – важких металів і кислого газу,

тому що від ступеня розвитку площі сім'ядолей залежить забезпечення проростків продуктами фотосинтезу на початкових етапах розвитку.

Досліджені сполуки у використаних концентраціях (Fe^{2+} 40 мг/л; Cr^{6+} 7 мг/л; HCl 300 мг/м^3) призводять до неоднозначних змін такого показника, як площа сім'ядолей. Так, Fe^{2+}, Cr^{6+} і одночасна дія Fe^{2+} + HCl практично не впливають на даний параметр (табл. 3). Лише надлишок хрому (VI) у середовищі вирощування одночасно з фумігацією хлористим воднем і обробка газом окремо достовірно знижують площу сім'ядолей *R. pseudoacacia*. При цьому значення площі цих вегетативних органів склали, відповідно, 82,0 і 87,0 % від контрольних величин.

Таблиця 3 – Вплив надлишку Fe, Cr та обкурювання HCl на площу сім'ядолей проростків *R. pseudoacacia* (12-а доба), $t_T = 2,0$

Варіант	Площа сім'ядолей, см^2	% від контролю	t
Контроль	1,00±0,030	–	–
Fe^{2+}	0,99±0,024	99,0	0,26
Cr^{6+}	0,99±0,026	99,0	0,26
Fe^{2+} + HCl	0,93±0,033	93,0	1,56
Cr^{6+} + HCl	0,82±0,021	82,0	4,86
HCl	0,87±0,022	87,0	3,51

Зниження площі сім'ядолей проростків *Gleditsia triacanthos* L. і *R. pseudoacacia* за дії Cr^{3+}, Fe^{2+}, Pb^{2+} встановила у своїх експериментах Т.І. Юсипіва [21]. В.П. Бессонова та Т.І. Юсипіва [2] вказують на зменшення площі даних вегетативних органів у сходів вищевказаних лісових культур при зростанні у атмосфері SO_2 і NO_2, більш значно виражене у *R. pseudoacacia*.

Перспективним є подальше вивчення комплексного забруднення на проростання насіння.

ВИСНОВКИ

1. Надлишок важких металів (Fe^{2+} 40 мг/л, Cr^{6+} 7 мг/л) і обкурювання HCl (300 мг/м^3) не впливають істотно на динаміку та енергію проростання насіння *R. pseudoacacia*. Лише у варіантах із додаванням у середовище вирощування Fe^{2+} (40 мг/л), газацією HCl (300 мг/м^3) і сумісною дією цих

сполук проростання насіння є дещо розтягнутим у часі порівняно з нормою.

2. Найбільш інформативним, індикаторним органом негативного впливу важких металів (Fe, Cr) та кислого газу (HCl) є корінь порівняно з іншими вегетативними органами проростків *R. pseudoacacia.* Менше піддаються токсичній дії гіпокотилі. Сім'ядолі виявилися найбільш стійкими вегетативними органами проростків, як за умов надлишку у живильному розчині важких металів (Fe^{2+}, Cr^{6+}), так і при обробці газом (HCl). Ряд стійкості органів до негативного впливу токсикантів в міру її збільшення виглядає наступним чином: корінь < гіпокотиль < сім'ядолі.
3. Найбільш виражена негативна дія на ростові процеси коренів проростків *R. pseudoacacia* у варіантах із внесенням Cr^{6+}, за сумісної дії Fe^{2+} і HCl, а також у варіанті (Cr^{6+} + HCl). Ріст гіпокотилю найбільше гальмується у варіантах за одночасної дії важких металів (Fe^{2+}, Cr^{6+}) і газації HCl, а сім'ядолей – у варіанті за сумісного впливу важкого металу (Cr^{6+}) і обробки кислим газом (HCl).
4. Негативний вплив важких металів і газів на ростові процеси вегетативних органів проростків *R. pseudoacacia* посилюється за їх сумісної дії.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Апостолов Л.Г. Некоторые вопросы взаимосвязей насекомых с кормовыми древесными породами // Вопросы степного лесоведения и охраны природы. – 1976. – Вып. 6. – С. 131–138.*
2. *Бессонова В.П., Юсыпива Т.И. Семенное возобновление древесных растений и промышленные поллютанты (SO_2 и NO_2). – Запорожье: ЗГУ, 2001. – 193 с.*
3. *Булахов В.Л., Лукацкая Е.А. Реакция растительного покрова искусственных лесных насаждений на факторы средообразующего воздействия микромамалий // Проблеми сучасної екології: Тези міжнар. конф., Запоріжжя, 20–22 вересня 2000 р. – Запоріжжя, 2000. – С. 89.*
4. *Веллингтон П. Методика оценки проростков семян. – М.: Колос, 1973. – 175 с.*
5. *Данович К.Н., Соболев А.М., Жданова Л.П. и др. Физиология семян. – М.: Наука, 1982. – 318 с.*

6. *Загрязнение воздуха и жизнь растений / Под ред. М. Трешоу. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 535 с.*
7. *Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.*
8. *Николаевский В.С. Эколого-физиологические основы газоустойчивости растений. Учеб. пособие. – М.: Москов. лесотехн. ин-т, 1989. – 64 с.*
9. *Обручева Н.В., Ковадло Л.С.. Прокофьев А.А. Уровень оводненности как пусковой фактор мобилизации крахмала и белка при прорастании семян гороха // Физиол. раст. – 1988. – Т. 35, Вып. 2. – С. 322–328.*
10. *Петерсон В.Р., Хедреярв У. Протекторная функция корневой системы у Agrostemma githago // Eesti biologi. – 1992. – № 6. – С. 14–27.*
11. *Петрушина Е.А., Демченко С.И. Изучение устойчивости проростков Pinus sylvestris L. к ионам кадмия // Питання біоіндикації та екології. – 2000. – Вип. 5, № 3. – С. 87–92.*
12. *Прокопьева Л.В., Швиндлерман С.П. Возникновение тератных форм у Robinia pseudoacacia L. под воздействием на нее техногенных эмиссий Донецкого металлургического завода (ДМЗ) // Проблеми сучасної екології: тези міжнар. конф. – Запоріжжя, 20–22 вересня 2000 р. – Запоріжжя, 2000. – С. 36.*
13. *Растения в экстремальных условиях минерального питания: Эколого-физиологические исследования / Под ред. М.Я. Школьника, Н.В. Алексеевой-Поповой. – Л.: Наука, 1983. – 176 с.*
14. *Руге У. Практикум по физиологии роста и развития растений. – М.: Иностранная Литература, 1955. – 186 с.*
15. *Самарська О.В. Комплексна дія кадмію та свинцю на характеристики проростання насіння Phleum pratense L. // Питання біоіндикації та екології. – 2001. – Вип. 6, № 3. – С. 35–45.*
16. *Соболев А.М., Жданова Л.П. Отложение веществ в запас // Физиология семян. – М.: Наука, 1982. – С. 48–101.*
17. *Ставрова Н.И., Лянгузова И.В. Влияние загрязнения почв тяжелыми металлами на прорастание семян и рост сеянцев сосны обыкновенной // Взаимодействие между лесными экосистемами и атмосферными загрязнителями: Тез. докл. I сов. – амер. симпоз. по проекту 02.03-21. Таллин, 1982. – С. 120–122.*
18. *Ставрова Н.И., Лянгузова И.В., Чертов О.Г. Реакция всходов ели сибирской на загрязнение почв серой и тяжелыми металлами // Экол. и*

физиол-биохим. аспекты антропотолерантности растений: Тез. докл. Всесоюз. конф. Таллин, 1986. – С. 51–53.

19. *Сюмка А.А., Сафонов А.И., Остапко И.Н. Сравнительное действие солей кадмия на Lepidium sativum L. // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів. – VIII Всеукр. наук. конф. аспірантів та студентів. – Донецьк, 14–16 квітня 1998 р. – Донецьк, 1998. – Т. 2. – С. 66–67.*
20. *Черненькова Т.В. Особенности прорастания семян сосны и ели при разной загрязненности почв тяжелыми металлами // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. – М., 1987. – С. 168–182.*
21. *Юсыпива Т.И. Влияние тяжелых металлов железа, хрома и свинца на прорастание семян и рост проростков Gleditsia triacanthos L. и Robinia pseudoacacia L. // Днепропетр. гос. ун-т. – Днепропетровск, 1996. – 27 с. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины 12.06.96, № 1411.-Ук 96.*
22. *Яковлєва С.О. Вплив важких металів на проростання насіння та ростові процеси проростків декоративних квіткових рослин // Проблеми сучасної екології: Тези міжнар. конф. – Запоріжжя, 24–26 червня 2002 р. – Запоріжжя, 2002. – С. 35.*
23. *Abrahamsen G., Horntved R., Tveite B. Impact of acid precipitation on coniferous forest ecosystems // Proc. 1st Intern. symp. on acid precipitation and the forest ecosystem. USDA Forest Serv. General Techn. Rep. NE-23, 1976. – P. 991–1009.*
24. *Arduini I., Godbold D.L., Onnis A. Cadmium and copper change root growth and morphology of Pinus pinea and Pinus pinaster seedlings // Physiol. Plant. – 1994. – 92, № 4. – P. 67–680.*
25. *Ballard T.O., Foley M.E., Bauman T.T. Germination, viability and protein changes during cold stratification of giant ragweed (Ambrosia trifida L.) seed // J. Plant Physiol. – 1996. – 149, № 1–2. – P. 229–232.*
26. *Bora K.K., Upadhyaya A., Vaid K., Sankhla D., Sankhla N. Pollutants and growth of Indian desert plants. II. Role of lead in early seedling growth and enzyme activity // Trans. Indian Soc. Desert Technol. and Univ. Cent Desert Stud. – 1980. – 5, № 2. – P. 39–44.*
27. *Bussler W. Nahrstoffuber schuss in hoheren Pflanzen auftretende Symptome // Z. Pflanzenernahr und Bodenkunde. – Bonn, 1989. – 560 s.*

28. *Chen Sh. L., Rao Ch. H. Cd induced changes in proline level and peroxidase activity in roots of rice seedlings // Plant Growth Regul. – 1995. – 17, № 1. – P. 67–71.*
29. *Debnath R., Mukherji S. Toxic action of barium chloride on germination, growth and metabolism of rice (Oryza sativa L.) // Environ. and Exp.Bot. – 1982. – 22, № 2. – P. 203–210.*
30. *Drennan P.M., Van S.J. Enhancement of emergence in Tagetes minuta by light and temperature pretreatment // Seed Sci. and Technol. – 1989. – 17, № 1. – P. 115–124.*
31. *Garsia W.J., Blessin C.W., Sandford H.W., Iglett G.E. Translocation and accumulation of seven heavy metals in tissues of corn plants grown on studge-treated strip-mined soil // J. Agr. and Food. Chem. – 1979. – 27, № 5. – P. 1088–1094.*
32. *Hasset J.J., Miller J.E., Koeppe D.E. Interaction of lead and cadmium on maize root, growth and uptake of lead and cadmium by roots // Environ. Pollut. – 1976. – 11, № 4. – P. 297–302.*
33. *Haut H. van, Stratmann H. Farbtafelatlas uber Schwefeldioxid – Wirkungen an Pflanzen. – Essen: Verlag W. Girardet, 1970. – 206 p.*
34. *ISTA (Intern. seed testing assoc.). International rules for seed testing // Proc. Intern. Seed. Test. Assoc. – 1966. – Vol. 31. – P. 152.*
35. *Jowett D. Population studies in lead tolerant Agrostis tenuis // Evolution. – 1964. – 18, № 1. – P. 70–84.*
36. *Kevin P. The effects of simulated acid rain on germinative capacity, growth and morphology of forest tree seedlings // New Phytologist. – 1986. – Vol. 104. – P. 473–484.*
37. *Khan M.R. Response of some vegetable crops to sulphur (SO_2) // Ann. Appl. Biol. – 1995. – 126, Suppl. – P. 98–99.*
38. *Khan M.A., Ungar I.A. Influence of salinity and temperature on the germination of Haloxylon recurvum Bunge ex. Boiss. // Ann. Bot. (USA). – 1996. – 78, № 5. – P. 547–551.*
39. *Krikova A., Tichy V. Pathophysiology of plant intoxications. 1. Heavy-metal cations and sodium humate interaction in lettuce elongation // Scr. Fac. Sci. nature. UJEP brun. – 1985. – 15, № 7. – P. 347–353.*

40. *Kumar G., Singh R.-P., Sushila. Nitrate assimilation and biomass production in Sesamum indicum L. seedlings in a lead enriched environment // Water, Air, and Soil Pollut. – 1993. – 66, № 1 – 2. – P. 163–171.*
41. *Libbert H.-P. Der Einfluss von Schwermetallen auf das Wurzelwachstum heterotroph vorkultivierter Lemna gibba L. // Biol. Radisch. – 1986. – 24, № 1. – S. 59–60.*
42. *McDonald N.W., Hart J.B.Ir., Nguyen P.V. Simulated acid rain effects on jack pine seedling establishment and nutrition // Soil Sci. Soc. Amer. J. – 1986. – № 50 (1). – P. 219–225.*
43. *Pandey J., Agrawal M. Growth responses of tomato plants to low concentrations of sulphur dioxide and nitrogen dioxide // Sci. hort (Neth.). – 1994. – 58, № 1–2. – P. 67–76.*
44. *Petit D. Ecology de qulques vegetaux metallicoles au Maroc. // Oecol. Plant. – 1974. – t. 9, № 1. – P. 3–50.*
45. *Raynal D.J., Roman J.R., Eichenlaub W.M. Response of tree seedlings to acid precipitation. 1. Effect of substrate on seed germination // Environ. And Exp. Botany. – 1982. – v. 22. – P. 377–383.*
46. *Schier G.A. Germination and early growth of four pine species on soil with simulated acid tain // Can. J. Forest Res. – 1987. – v. 17. – P. 1190–1196.*
47. *Wilkins D.A. A technique for the measurement of lead tolerance in plants // Nature. – 1957. – v. 180, № 4575. – P. 37–38.*
48. *Yadav N.K., Chand S. Influences of SO_2 on seed germination and seedling growth of Eulaliopsis binata (Retz.) Hubbard (Bhabar Grass) // Geobios (India). – 1990. – 17, № 4. – P. 190–191.*

THE INFLUENCE OF HEAVY METALS AND ACID GASES ON INITIAL STAGE OF MATURITY OF *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. IN MODEL EXPERIMENT

S.O. Jakovleva-Nosar

The influence of heavy metals (Fe^{2+} 40 mg/l, Cr^{6+} 7 mg/l) and fumigation chlorohydrogen (300 mg/m^3) separately and co-operation on energy and dynamics of the germination seeds, growth processes of seedlings vegetative organs of *Robinia pseudoacacia* L. was studied.

УДК 581.4/.9:574.24

Яковлєва-Носарь С.О. Вплив важких металів і кислих газів на початкові стадії розвитку *Robinia pseudoacacia* L. у модельних експериментах // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя: ЗНУ, 2008. – Вип. 13, № 2. – С. 87–104.

Досліджено вплив важких металів (Fe^{2+} 40 мг/л, Cr^{6+} 7 мг/л) і газації хлороводнем (300 мг/м^3) окремо та їх сумісної дії на енергію й динаміку проростання насіння *Robinia pseudoacacia* L., а також на ростові процеси вегетативних органів проростків цього виду.

Бібл. 48. Табл. 3. Рис. 3.