

Ю. О. Кутлахмедов¹, В. В. Швартау², Л. М. Михальська², С. А. Пчеловська¹,
А. Г. Салівон¹, Л. В. Тонкаль¹

¹ Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ

² Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, Київ

ЗМІНА НАКОПИЧЕННЯ КАДМІЮ ПРОРОСТКАМИ КУКУРУДЗИ ПРИ ГОСТРОМУ γ -ОПРОМІНЕННІ НАСІННЯ

Представлено результати дослідження впливу γ -опромінення насіння кукурудзи та внесення хлориду кадмію в середовище живлення проростків на їхні поглинальні та ростові характеристики в умовах водної культури. В якості поглинальної характеристики використовували фактор радіоємності. Насіння опромінювали в дозі 35 Гр, концентрація внесеного хлориду кадмію становила 10, 20 і 40 мкМ. Установлено, що опромінення насіння кукурудзи в дозі 35 Гр позитивно впливає на ростові та поглинальні характеристики рослин кукурудзи в умовах водної культури. Кількісна оцінка характеру взаємодії радіаційного та токсичного факторів впливу за коефіцієнтом синергізму показала, що радіаційний і токсичний фактори взаємодіють неадитивно. Накопичення кадмію у водній культурі рослин кукурудзи становить 7 - 21 % від початкової внесеної кількості. Показано, що фактор радіоємності по трасеру ^{137}Cs є коректним показником стану та реакції рослин в умовах водної культури на дію γ -опромінення і внесення CdCl_2 .

Ключові слова: γ -опромінення, хлорид кадмію, фактор радіоємності, комбінована дія, синергізм.

Високі рівні техногенного навантаження на довкілля вимагають приділяти значну увагу необхідності детального вивчення особливостей комбінованого впливу важких металів, пестицидів та іонізуючого випромінювання на живі організми. Токсична дія антропогенних чинників може бути модифікована за рахунок одночасного або послідовного впливу декількох стресорів тієї або іншої природи. Наслідки таких комбінованих впливів можуть бути більш небезпечними, ніж можна очікувати від простого накладання ефектів, однак може спостерігатись і протилежне явище – дія одного стресового чинника підвищує захисні реакції організму, унаслідок чого сумарний ефект за дії двох різних стресорів є меншим, ніж за дії одного з них. Взаємне підсилення негативного впливу одного стресора за рахунок дії іншого носить назву явища синергізму. Коли дія одного стресора зменшує негативний вплив іншого, то мова йде про антагонізм у взаємодії факторів [1].

Важкі метали, зокрема кадмій, мають значну фітотоксичність і зумовлюють суттєві порушення рослинного метаболізму вже за низьких концентрацій [2, 3]. Основними джерелами забруднення довкілля кадмієм є використання суперфосфатних добрив, видобуток та металургія цинку, електронна та електротехнічна промисловість, спалювання і переробка матеріалів, особливо пластмас, куди кадмій додається для міцності та в якості барвника [4 - 8]. Важливим та актуальним є дослідження накопичення важких металів рослинами, оскільки саме рослинна продукція –

одне із основних джерел надходження важких металів, зокрема кадмію, до організму людини [9, 10].

Раніше нами вже було показано можливість зменшення негативного впливу токсичного та радіаційного факторів на ростові та поглинальні характеристики проростків кукурудзи за їхньої комбінованої дії при різних режимах застосування за рахунок неадитивності у взаємодії радіаційного та токсичного стресорів. Залежно від дози опромінення проростків та режиму застосування як радіаційного так і хімічного стресора спостерігали як синергізм, так і антагонізм в їхній взаємодії [11 - 13]. Метою даної роботи було дослідити особливості впливу γ -опромінення насіння кукурудзи зокрема та в комбінації з дією хлориду кадмію на ростові та поглинальні характеристики проростків кукурудзи.

Матеріали та методи досліджень

У роботі було досліджено вплив γ -опромінення насіння кукурудзи в дозі 35 Гр на поглинання проростками іонів кадмію з водного розчину. Опромінення проводили на γ -установці «Исследователь» (РФ, Гатчина), джерело - ^{60}Co , потужність дози – 17 Гр/с. Досліди проводилися в умовах водної культури рослин. Для пророщування відбирали непошкоджене опромінене та неопромінене насіння кукурудзи сорту Достаток 300 МВ, розкладали в ростильні на зволожені підкладки по 50 насінин у кожній і поміщали в термостат (24 °C) на 3 доби. Проростки в кіль-

© Ю. О. Кутлахмедов, В. В. Швартау, Л. М. Михальська,
С. А. Пчеловська, А. Г. Салівон, Л. В. Тонкаль, 2016

кості 20 - 25 шт. висаджували в скляні 0,5 л ємності з відстояною водою з водогону, куди також додавали розчин CdCl_2 в концентраціях 10, 20, 40 мкМ. В якості характеристик стану рослинних об'єктів використовували відносну швидкість росту головного кореня проростків та фактор радіоємності – характеристику поглинальної здатності проростків відносно спеціально внесеного у воду радіонукліда-трасера ^{137}Cs у вигляді хлориду цезію. Висхідна радіоактивність по ^{137}Cs в банках становила 1,5 кБк (в 0,5 л). З інтервалом в 1 добу протягом 7 - 10 діб проводили вимірювання залишкової активності в ємностях за допомогою γ -спектрометра СЕГ-05 (Україна), в якому в якості детектора використано монокристал NaI. Вимірювання радіоактивності проводили до тих пір, коли похибка вимірювання була 3 %. Для дослідження впливу внесення хлориду кадмію на ростові характеристики через добу вимірювали довжину головного кореня проростків, обчислювали відносну швидкість росту й нормували ці значення, відносячи їх до значень контрольного варіанта.

У цій роботі в якості характеристики стану досліджуваного біологічного об'єкта (проростків кукурудзи) використовували характеристику ростової активності – відносну швидкість росту (ВШР) головного кореня проростків та раніше нами запропоновану [11] характеристику поглинальної здатності рослин – фактор радіоємності.

Фактор радіоємності F – безрозмірна величина ($0 \div 1$), яка визначає частку радіонуклідів, накопичених однією з компонент системи від загальної кількості радіонуклідів у системі. Інакше кажучи, – це характеристика поглинальної здатності рослин як компоненти екологічної системи. Динаміку цієї характеристики зручно вивчати за допомогою спеціально внесеного в систему радіонукліда-трасера, перерозподіл якого між компонентами системи можна визначати за допомогою дозиметричних методів.

Фактор радіоємності ($F_{\bar{\sigma}}$) для кожного з дослідних варіантів розраховували як

$$F_{\bar{\sigma}} = 1 - A_i/A_0,$$

де A_i – активність поживного розчину в i -й момент спостереження (її безпосередньо вимірювали в ході експерименту); A_0 – активність розчину в початковий момент (спеціально внесена активність по $^{137}\text{CsCl}$).

Нормування розрахованих значень $F_{\bar{\sigma}}$ проводили, поділивши це значення у відповідний i -й момент спостереження ($F_{\bar{\sigma}i}$) на значення $F_{\bar{\sigma}}$ для контролю ($F_{\bar{\sigma} \text{ контр}}$) і помноживши на 100 %:

$$F_{\text{норм.}} = (F_{\bar{\sigma}i}/F_{\bar{\sigma} \text{ контр}}) \cdot 100 \text{ \%}.$$

Отримані таким чином оцінки поглинальної активності далі використовували для побудови дозових і часових залежностей фактора радіоємності.

Крім того, за допомогою цього показника можна кількісно оцінити характер взаємодії двох факторів, розрахувавши коефіцієнт синергізму P як

$$P = \frac{Z_{\text{Cd+onp}}}{Z_{\text{Cd}} \cdot Z_{\text{onp}}} \cdot Z_0.$$

Тут Z_0 – відношення факторів радіоємності біотичної та водної компонент системи $F_{\bar{\sigma}}/F_{\bar{\sigma}}$ для контрольного варіанта; $Z_{\text{Cd+onp}}$ – відношення при комбінованому впливі γ -опромінення та хлориду кадмію; Z_{Cd} і Z_{onp} – відношення для незалежних впливів кожного з чинників. При $P < 1$ – можна говорити про синергізм у взаємодії факторів, тобто фактори підсилюють (поглиблюють) негативний вплив один одного; при $P = 1$ – адитивність у взаємодії факторів (результат дорівнює сумі впливів кожного з факторів); при $P > 1$ – спостерігається антагонізм, тобто негативний вплив одного фактора зменшується під дією іншого [11].

Методом мас-спектрометрії було визначено відсоток поглинання іонів кадмію проростками, вирощеними з неопроміненого насіння та опроміненого в дозі 35 Гр для різних концентрацій внесеного розчину CdCl_2 . Визначення елементного складу в дослідних зразках здійснювали на емісійному мас-спектрометрі ICP-MS Agilent 7700x. Зразки висушували при 105 °С до постійної сухої маси, подрібнювали та озолювали в ICP-grade азотній кислоті за допомогою мікрохвильової пробопідготовки Milestone Start D. Отриманий екстракт доводили до 50 мл водою 1-го класу (18 Мом), підготовленою на системі очищення води Scholar-UV NexUp 1000 (Human Corporation, Корея).

При обробці експериментальних даних використовували стандартні статистичні методи [14]. Виявлені відмінності в значеннях ростових показників та фактора радіоємності статистично достовірні ($P \leq 0,05$).

Результати досліджень

Для вивчення комбінованого впливу внесення хлориду кадмію та опромінення насіння на водну культуру проростків кукурудзи за ростовою реакцією коренів та за накопиченням трасера ^{137}Cs вносили 10, 20 та 40 мкМ хлориду кадмію у воду, яка слугувала середовищем живлення для проростків кукурудзи, вирощених з опроміненого та неопроміненого насіння. Динаміку поглинальної характеристики проростків – фактора радіоємності – представлено на рис. 1.

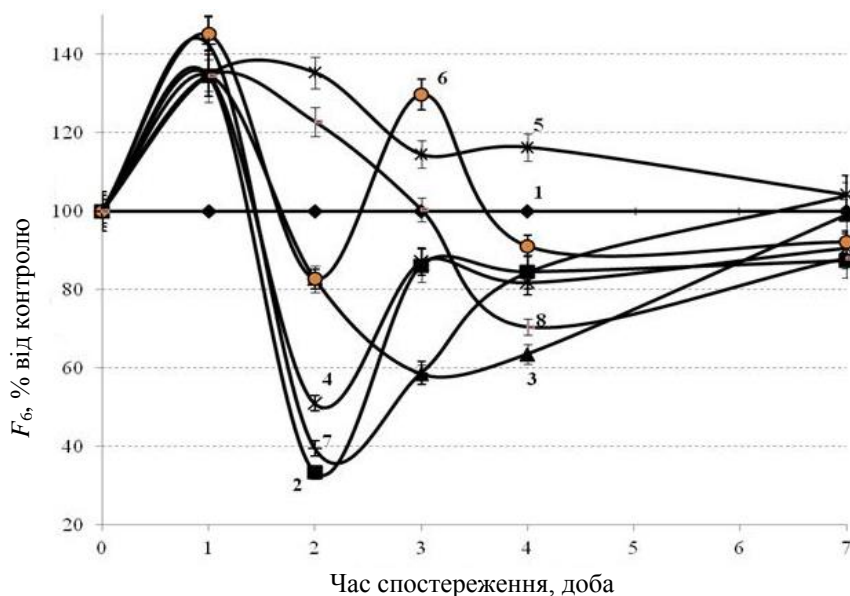


Рис. 1. Поглинальні характеристики (фактор радіємності біоти F_6) проростків кукурудзи, вирощених з опроміненого та неопроміненого насіння при внесенні хлориду кадмію в середовище живлення. Нумерація кривих відповідає варіантам: 1 – контроль; 2 – 10 мкМ CdCl₂; 3 - 20 мкМ CdCl₂; 4 - 40 мкМ CdCl₂; 5 – 35 Гр; 6 - 10 мкМ CdCl₂ + 35 Гр; 7 - 20 мкМ CdCl₂ + 35 Гр; 8 - 40 мкМ CdCl₂ + 35 Гр.

Видно, що значення фактора радіємності F_6 змінюється з часом, що пов'язано з біологічними процесами. Але слід виділити, що проростки кукурудзи, вирощені з опроміненого насіння, характеризуються вищими показниками фактора радіємності F_6 в порівнянні зі значеннями для проростків, вирощених із неопроміненого насіння. Це свідчить про те, що значення фактора радіємності F_6 для проростків, вирощених із насіння, опроміненого в дозі 35 Гр (крива 5),

переважають значення F_6 для контролю впродовж усього часу спостереження. При комбінванні радіаційного та токсичного стресорів, коли в середовище живлення проростків, вирощених із опроміненого насіння вносили хлорид кадмію, спостерігаються нелінійні зміни динаміки F_6 .

Для кращої наочності наводимо діаграму значень фактора радіємності F_6 проростків кукурудзи на 3-ю добу спостережень (рис. 2).

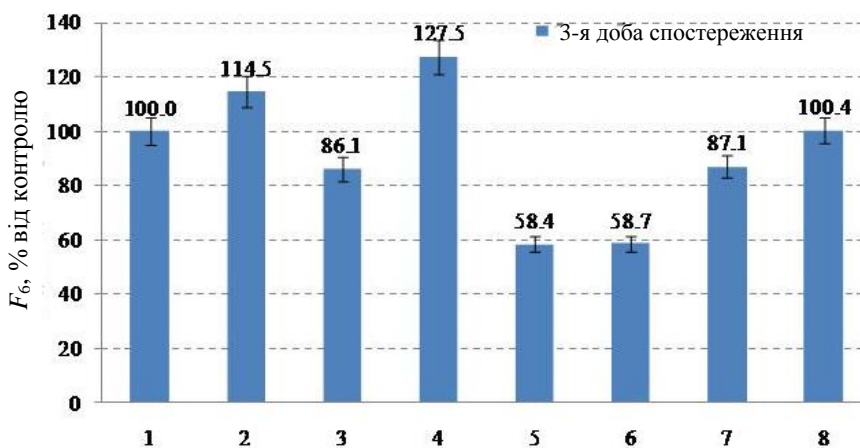


Рис. 2. Значення фактора радіємності F_6 проростків кукурудзи на 3-ю добу спостережень. Нумерація стовпчиків відповідає варіантам: 1 – контроль; 2 – 35 Гр; 3 – 10 мкМ CdCl₂; 4 – 10 мкМ CdCl₂ + 35 Гр; 5 – 20 мкМ CdCl₂; 6 – 20 мкМ CdCl₂ + 35 Гр; 7 – 40 мкМ CdCl₂; 8 – 40 мкМ CdCl₂ + 35 Гр.

Видно, що в усіх випадках значення фактора радіємності F_6 проростків кукурудзи, вирощених із насіння, опроміненого в дозі 35 Гр, мають вищі значення, ніж для проростків, отриманих із неопроміненого насіння. Винятком є хіба що варіанти із внесенням 20 мкМ CdCl₂ – для них

різниця між опроміненними та неопроміненними проростками незначна. Але якщо подивитись на рис. 1, то можна побачити, що, починаючи вже з 4-ї доби, ця різниця є більш суттєвою і надалі становить близько 20 %.

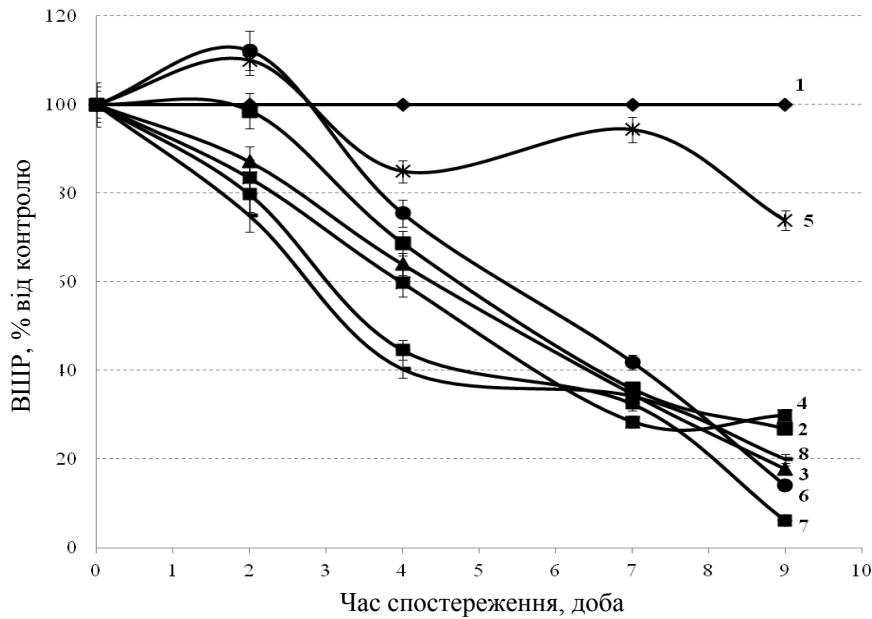


Рис. 3. Відносна швидкість росту головного кореня проростків, вирощених з опроміненого та неопроміненого насіння при внесенні хлориду кадмію в середовище живлення. Нумерація кривих відповідає варіантам: 1 – контроль; 2 – 10 мкМCdCl₂; 3 – 20 мкМCdCl₂; 4 – 40 мкМCdCl₂; 5 – 35 Гр; 6 – 10 мкМCdCl₂ + 35 Гр; 7 – 20 мкМCdCl₂ + 35 Гр; 8 – 40 мкМCdCl₂ + 35 Гр.

Динаміка ростових показників – швидкостей росту головного кореня проростків відносно до контролю – представлена на рис. 3.

Спостерігається, що найбільші значення ВШР характерні для проростків, опроміненних у дозі 35 Гр (крива 5). Крім того, як і для фактора радіємності, спостерігається позитивний вплив комбінованої дії внесення 10 мкМ хлориду кадмію в середовище живлення проростків, вирощених з опроміненого насіння, на їхні ростові характеристики.

Проведено розрахунки коефіцієнта синергізму P між дією дози опромінення (35 Гр) та

внесенням у середовище живлення хлориду кадмію (10, 20 та 40 мкМ), динаміку цього показника представлено на рис. 4. Установлено, що на початку росту проростків кукурудзи чітко спостерігається антагонізм між дією внесення хлориду кадмію та впливом γ -опромінення, який потім змінюється на чітко виражений синергізм. Характер взаємодії факторів змінюється з часом. Протягом перших трьох діб для комбінацій 10 мкМCd + 35 Гр та 40 мкМCd + 35 Гр спостерігається антагонізм, а для 20 мкМCd + 35 Гр навпаки, – синергізм.

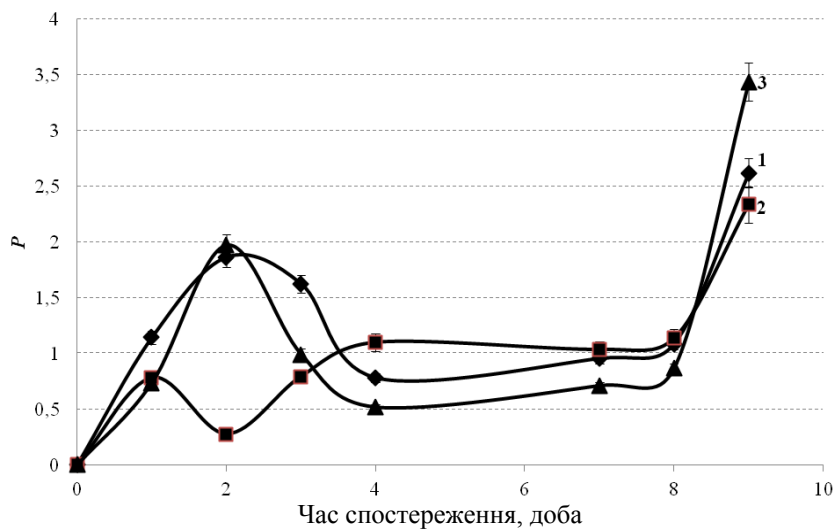


Рис. 4. Часова залежність коефіцієнта синергізму для комбінованої дії токсичного та радіаційного факторів. Нумерація кривих відповідає варіантам: 1 – 10 мкМ CdCl₂ + 35 Гр; 2 – 20 мкМ CdCl₂ + 35 Гр; 3 – 40 мкМ CdCl₂ + 35 Гр.

У подальшому встановлено ефект підсилення негативної дії кадмію та радіації на показники фактора радіоємності, що може відображати підсилення ефекту комбінованої дії внесення хлориду кадмію та γ -опромінення на стан рослин у досліджуваній модельній екосистемі – водній культурі рослин кукурудзи. При дозі опромінення насіння 35 Гр на початковому етапі росту спостігається помітний антагонізм для варіантів, де опромінені проростки висаджувалися на розчин з кадмієм по 10 та 40 мкМ, який потім змінюється на чіткий ефект синергізму. Ці зміни можуть бути пов'язані з процесами відновлення рослинного організму, які вмикаються в певний момент, і з накопиченням пошкоджень, що призводять до того, що ефекти синергізму/антагонізму при взаємодії радіаційного та токсичного стресорів носять тимчасовий характер і змінюють один одного з часом.

Таким чином, показано можливість використовувати показник синергізму P в якості

критерію кількісної оцінки взаємодії двох стресорів різної природи: важкого металу кадмію та γ -опромінення на стан рослин кукурудзи на водній культурі у дослідах. Показано, що за показником відносної швидкості росту коренів кукурудзи отримано аналогічні результати.

Дані по накопиченню іонів кадмію проростками кукурудзи в процентному відношенні до початково внесеної кількості представлено на рис. 5. Аналіз отриманих результатів щодо накопичення іонів кадмію проростками кукурудзи в умовах водної культури показав, що при внесенні хлориду кадмію в поживний розчин водної культури в концентрації 10 мкМ на 0,5 л рослини кукурудзи поглинають до 21 % внесеної кількості іонів кадмію. При збільшенні концентрації до 20 мкМ, відсоток поглинання зменшується до 16 %, а при внесенні 40 мкМ – сумарне надходження знижується до 7,6 % від внесеної кількості.

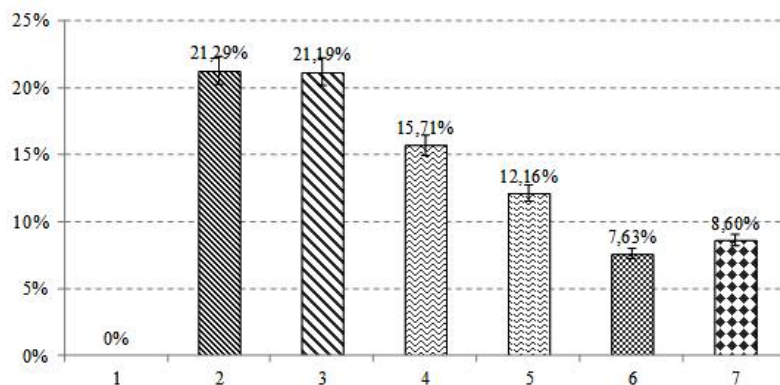


Рис. 5. Накопичення кадмію проростками кукурудзи у процентному відношенні до початково внесеної кількості. Нумерація стовпчиків відповідає варіантам: 1 – контроль; 2 – 10 мкМ CdCl₂; 3 – 10 мкМ CdCl₂ + 35 Гр; 4 – 20 мкМ CdCl₂; 5 – 20 мкМ CdCl₂ + 35 Гр; 6 – 40 мкМ CdCl₂; 7 – 40 мкМ CdCl₂ + 35 Гр.

Це може свідчити про те, що підвищення концентрації внесеного хлориду кадмію зумовлює зменшення відсотка поглинутого рослинами кадмію. Імовірно, що це зменшення пов'язане з токсичністю даного важкого металу для рослин. Для проростків, вирощених з опроміненого насіння, також спостерігається зменшення надходження іонів кадмію із зростанням концентрації внесеного в середовище живлення хлориду кадмію від 21 % – при внесенні 10 мкМ, до 12 % – при внесенні 20 мкМ, а при внесенні 40 мкМ поглинання становить 8,6 % від внесеної кількості. Тобто і тут отримано вплив токсичності внесеного хлориду кадмію на його накопичення проростками кукурудзи в умовах водної культури рослин.

Установлено, що накопичення кадмію у водній культурі рослин кукурудзи становить від 7 до 21 % від внесеної на початку кількості. Це означає, що кадмій накопичується в рослинах у знач-

них кількостях і це впливає як на ростові показники рослин, так і на їхню спроможність акумулювати трасер ¹³⁷Cs. Це підтверджує наші дані щодо синергізму у взаємодії ураження рослин іонами важкого металу кадмію та γ -опроміненням.

Висновки

1. Попереднє γ -опромінення насіння кукурудзи в дозах 35 Гр виявляє стимулюючий вплив на ріст рослин кукурудзи в умовах водної культури, а також позитивно впливає на поглинальну здатність рослин стосовно спеціально внесеного в середовище радіонукліда-трасера ¹³⁷Cs.

2. Проведено кількісну оцінку характеру взаємодії радіаційного та токсичного факторів впливу за коефіцієнтом синергізму. Виявлено, що взаємодія цих факторів має неадитивний та транзитивний характер. Показано, що використання фактора радіоємності по трасеру ¹³⁷Cs

ефективне для оцінки характеру взаємодії радіаційного та хімічного стресорів.

3. Виявлено, що опромінення насіння кукурудзи сприяло зменшенню негативного впливу

токсичного чинника – хлориду кадмію як на ростові, так і на поглинальні показники проростків кукурудзи, що свідчить про певну захисну дію з боку радіаційного чинника.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Петин В.Г., Жураковская Г.П., Комарова Л.Н. Радиобиологические основы синергических взаимодействий в биосфере. - М.: ГЕОС, 2012. - 219 с.
2. Серегин И.В., Иванов В.Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. - 2002. - Т. 48, № 4. - С. 606 - 630.
3. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Кадмий: экологические аспекты. - Женева: ВОЗ, 1994. - М.: Медицина, 1994. - 160 с.
4. Ягодин Б.А., Виноградов С.Б., Говорина В.В. Кадмий в системе почва-удобрение-растения-живые организмы // Агротехника. - 1989. - № 5. - С. 125 - 135.
5. Марушко Ю.В., Таринська О.Л., Олефір Т.І. та ін. Накопичення кадмію та його вплив на організм дитини // Здоровье ребенка. - 2010. - № 5(26); URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/14190>
6. Антоняк Г.Л., Білецька Л.П., Бабич Н.О. та ін. Кадмій в організмі людини і тварин. I. Надходження до клітин і акумуляція // Біологічні Студії (Studia Biologica). - 2010. - Т. 4, № 2. - С. 127 - 140.
7. Захарова М.А. Вміст важких металів у зрошуваних чорноземах звичайних // Вісник ХНАУ. - 2002. - № 1.
8. Яковенко О.В., Самчук А.І., Курасва І.В., Манічев В.Й. Особливості забруднення ґрунтів кадмієм та іншими важкими металами підприємствами кольорової металургії // Мінерал. журн. - 2011. - Т. 33, № 2. - С. 96 - 99.
9. Косоветь О.О., Колісник І.А. Стан забруднення природного середовища на території України за даними спостережень організацій Державної Гідрометслужби у 2010 році // URL: http://eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/konf/3vze/zb_m/t1/tom_1_s02_p_198_201.pdf
10. Клименко М.О., Кирильчук Н.В., Кір'янчук К.І., Музика В.І. Оцінка сівану забруднення сільськогосподарських угідь Рівненської області важкими металами // Вісн. нац. ун-ту водного господарства та природокористування. - 2013. - Вип. 1(61). - С. 15 - 21.
11. Пчеловская С.А., Саливон А.Г., Ленъшина А.Н. и др. Использование метода оценки фактора радиоемкости в исследованиях перекрестной адаптации растений // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2011. - Т. 51, № 2. - С. 1 - 7.
12. Пчеловская С.А., Кутлахмедов Ю.А. Исследование комбинированного влияния гамма-облучения и фракционированного внесения соли токсического металла CdCl₂ на состояние модельной растительной экосистемы // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних дослідж. - 2004. - № 1 (12). - С. 88 - 95.
13. Костюк О.П., Михеев А.Н., Кутлахмедов Ю.А. Модификация способности накапливать радионуклиды с помощью их стабильных изотопов // Окружающая среда и здоровье. - К.: Укр. научн. гигиен. центр. Деп. в ГНТБ Украины. - 1993. - 10 с.
14. Калоша В.К., Лобко С.И., Чикова Т.С. Математическая обработка результатов эксперимента. - Минск: Vyshejschaya shkola, 1982.

Ю. А. Кутлахмедов¹, В. В. Швартау², Л. Н. Михальская², С. А. Пчеловская¹,
А. Г. Саливон¹, Л. В. Тонкаль¹

¹ Інститут клітинної біології та генетическої інженерії НАН України, Київ,

² Інститут фізіології рослин та генетики НАН України, Київ

ИЗМЕНЕНИЕ НАКОПЛЕНИЯ КАДМИЯ ПРОРОСТКАМИ КУКУРУДЫ ПРИ ОСТРОМ γ -ОБЛУЧЕНИИ СЕМЯН

Представлены результаты исследования влияния предварительного γ -облучения семян кукурузы и внесения раствора хлорида кадмия в питательную среду проростков на их поглотительные и ростовые характеристики в условиях водной культуры. В качестве поглотительной характеристики использовали фактор радиоемкости. Семена облучали в дозе 35 Гр, концентрация внесенного хлорида кадмия составляла 10, 20 и 40 мкМ на 0,5 л. Установлено, что предварительное острое γ -облучение семян кукурузы в дозе 35 Гр положительно влияет на ростовые и поглотительные характеристики растений кукурузы в условиях водной культуры. Количественная оценка характера взаимодействия радиационного и токсического факторов влияния по коэффициенту синергизма показала, что радиационный и токсический факторы взаимодействуют неаддитивно. Накопление кадмия проростками кукурузы в водной культуре имеет значения от 7 до 21 % от изначально внесенного количества. Показано, что фактор радиоемкости по трассеру ¹³⁷Cs является корректным показателем состояния и реакции растений в условиях водной культуры на действие γ -облучения и внесения соли CdCl₂.

Ключевые слова: γ -облучение, хлорид кадмия, фактор радиоемкости, комбинированное действие, синергизм.

**Yu. A. Kutlahmedov¹, V. V. Schwartau², L. M. Mykhalska², S. A. Pchelovska¹,
A. G. Salivon¹, L. V. Tonkal¹**

¹ Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

² Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

MODIFICATION OF CADMIUM ACCUMULATION BY MAIZE SEEDLINGS BY ACUTE γ -IRRADIATION OF SEEDS

Results of the study of effect of preliminary γ -irradiation of maize seeds and cadmium chloride entering into the nutrient medium of sprouts on their absorption and growth characteristics in the water culture conditions have been presented. The radiocapacity factor by the tracer ¹³⁷Cs was used as the absorption characteristic. Seeds were irradiated at a dose of 35 Gy, the concentration of submitted cadmium chloride was 10, 20; 40 μ M on 0,5 l. It has been established that the preliminary acute γ -irradiation of maize seeds at a dose 35 Gy has a positive effect on the maize plants growth and absorption characteristics in the water culture conditions. Quantitative evaluation of character of the radiation and chemical factors interaction by the coefficient of synergy has shown that the radiation and toxic factors interact non-additive. The cadmium accumulation of maize sprouts in water culture has the values from 7 to 21% of the initially introduced amount. It is shown that the radiocapacity factor by the ¹³⁷Cs tracer is adequate and convenient parameter of maize plants in water culture condition and its reaction to the γ -irradiation and introduction of CdCl₂ salt influence.

Keywords: γ -irradiation, cadmium chloride, radiocapacity factor, combined influence, synergism.

REFERENCES

1. *Petin V.G., Zhurakovskaya G.P., Komarova L.N.* Radiobiological bases of synergistic interaction in the biosphere. - Moskva: GEOS, 2012. - 219 p. (Rus)
2. *Seregin I.V., Ivanov V.B.* // *Fiziologiya rastenij.* - 2002. - Vol. 48, No. 4. - P. 606 - 630. (Rus)
3. *Hygienic criteria of the environment. Cadmium: environmental aspects.* - Geneva: WHO, 1994. - Moskva: Meditsina, 1994. - 160 p. (Rus)
4. *Yagodin B.A., Vinogradov S.B., Govorina V.V.* // *Agrokhimiya.* - 1989. - No. 5. - P. 125 - 135. (Rus)
5. *Marushko Yu.V., Tarins'ka O.L., Olefir T.I. et al.* // *Zdorov'e rebenka.* - 2010. - No. 5(26); URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/14190> (Ukr)
6. *Antonyak G.L., Bilets'ka L.P., Babych N.O. et al.* // *Studia Biologica.* - 2010. - Vol. 4, No. 2. - P. 127 - 140. (Ukr)
7. *Zakharova M.A.* // *Visnyk KhNAU.* - 2002. - No. 1. (Ukr)
8. *Yakovenko O.V., Samchuk A.I., Kurayeva I.V., Manichev V.I.* // *Mineralogichnyj zhurnal.* - 2011. - Vol. 33, No. 2. - P. 96 - 99. (Ukr)
9. *Kosovets A.A., Kolesnik I.A.* Environmental pollution state in Ukraine, according to observations of the State Hydrometeorological organization in 2010 // URL: http://eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/konf/3vz_e/zb_m/t1/tom_1_s02_p_198_201.pdf (Ukr)
10. *Klymenko M.O., Kyryl'chuk N.V., Kir'yanchuk K.I., Muzyka V.I.* // *Visnyk natsional'nogo universytetu vodnogo gospodarstva ta pryrodokorystuvannya.* - 2013. - Iss. 1(61). - P. 15 - 21. (Ukr)
11. *Pchelovskaya S.A., Salivon A.G., Len'shina A.N. et al.* // *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya.* - 2011. - Vol. 51, No. 2. - P. 1 - 7. (Rus)
12. *Pchelovskaya S.A., Kutlahmedov Yu.A.* // *Zbirnyk naukovykh prats' Instytutu yadernykh doslidzhen'.* - 2004. - No. 1 (12). - P. 88 - 95. (Rus)
13. *Kostyuk O.P., Mikheev A.N., Kutlahmedov Yu.A.* // *Okruzhayushchaya sreda i zdorov'e.* - Kyiv: Ukrainskij nauchno-gigienicheskij tsentr. State Scientific and Technical Library of Ukraine. - 1993. - 10 p. (Rus)
14. *Kalosha V.K., Lobko S.I., Chikova T.S.* Mathematical processing of experimental results. - Minsk: Higher School, 1982. (Rus)

Надійшла 03.06.2016

Received 03.06.2016