

ОЦІНКА ГЕНОТОКСИЧНОСТІ ^{241}Am В ТЕСТ-СИСТЕМІ КЛІТИН КОРЕНЕВОЇ МЕРИСТЕМИ ПРОРОСТКІВ *ALLIUM CERA L.*

Н. К. Куцоконь¹, Д. М. Гродзинський¹, Н. М. Рашидов¹, В. В. Тришин²

¹Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ

²Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Метою даної роботи було вивчення впливу ^{241}Am на рівень пошкодження хромосом у рослинній тест-системі. На проростках цибулі *Allium cere L.* встановлено вплив випромінювання ^{241}Am на рівень хромосомних аберацій (ХА) у клітинах кореневої меристеми проростків (за частотою аберантних анафаз), мітотичний індекс (МІ) та енергію проростання (ЕП). Насіння пророщували в розчинах $^{241}\text{AmCl}_3$ різних концентрацій ($1,5 \cdot 10^{-9}$ - $3,0 \cdot 10^{-7}$ г/л). Встановлений коефіцієнт переходу ^{241}Am з водного розчину в рослинний організм становив $0,18 \pm 0,04$. Для визначення відносної біологічної ефективності (ВБЕ) α -випромінювань порівнювали ефекти, викликані хлоридом ^{241}Am , з ефектами γ -опромінення. При дії γ -променів спостерігався сильний вплив як на рівень ХА, так і на МІ. Вплив ^{241}Am найбільш виразно проявився у дії його на ЕП. При вивченні частоти ХА в проростках, що нагромаджували ^{241}Am , не встановлено достовірних відмінностей від контролю. У варіанті з концентрацією ^{241}Am $1,5 \cdot 10^{-8}$ г/л спостерігалось найвище відхилення частоти ХА. За цим найвищим значенням визначено показник ВБЕ, що становив 58 ± 18 . Оскільки умови опромінення α -частинками та γ -променями були різними, істинне значення ВБЕ може виявитись дещо нижчим.

Після аварії на ЧАЕС деякі території України виявилися значно забрудненими ^{241}Am . З роками відбуватиметься поступове зростання вмісту ^{241}Am внаслідок β -розпаду ^{241}Pu , період напіврозпаду якого 14,4 роки. Внаслідок цього максимальний пік збільшення вмісту ^{241}Am у довкіллі очікується в 2059 р., коли активність цього радіонукліда зросте приблизно в 40 разів. При радіоактивному розпаді ^{241}Am випромінює α -частинки з енергією 5,45 МеВ, а також γ -кванти з енергією 59,5 кеВ та рентгенівське випромінювання (в області 10 - 20 кеВ). При потраплянні в організм ^{241}Am та інших трансуранових елементів найбільшого значення в індукції біологічних ефектів набуває дія α -випромінювання. Висока енергія та малий пробіг α -частинок створюють у мікрооб'ємах клітин та тканин високу густину іонізації, що обумовлює зниження ефективності відновлення та кумулятивне накопичення дози [1].

Проблема америцію пов'язана не лише з Чорнобильською катастрофою. Вона існує також і в інших країнах, зокрема в Казахстані, де внаслідок роботи Семіпалатинського ядерного полігона значні території зазнали забруднення радіонуклідами ^{137}Cs , ізотопів плутонію, ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{60}Co та ін. Виявлено, що близько 1,5 млн жителів, які проживають у суміжному до полігона районі й підпадають під дію хронічного опромінення, мають рівень соматичних захворювань, що вдвічі перевищує контрольні показники [2]. Встановлено, що ^{241}Am належить до 10 радіонуклідів, котрі обумовлюють найбільші частки в колективні дози, які отримує населення планети [3]. Зазначене свідчить про те, що інкорпорація радіонуклідів трансуранового ряду в організм людини є реальним фактом, чим і зумовлена необхідність вивчення можливих індукованих ними ефектів у живих організмах. Слід зазначити, що генотоксичність трансуранових елементів, зокрема ^{241}Am , повною мірою ще не з'ясована.

У роботах, виконаних із використанням рослин, більшість авторів визначають вміст ^{241}Am у різних частинах рослин та розраховують коефіцієнти переходу радіонукліда в системі "грунт - рослина" [4 - 7]. У польових дослідженнях встановлено істотні відмінності в здатності нагромаджувати ^{241}Am не тільки різними видами рослин, але й окремими особинами одного виду. Виявлено також нерівномірність розподілу ^{241}Am у рослинному організмі. Найвищі коефіцієнти накопичення спостерігались у представників родини бобових, більш низькі – у злаків [8].

Досліджено вплив ^{241}Am на тривалість життя тварин та виявлено значну його канцерогенність [1, 9, 10], з'ясовано депонування цього радіонукліда в різних органах тварин та людей, які потрапили в забруднену зону внаслідок нещасних випадків, та описано клінічні симптоми радіонуклідного ураження [11 - 14]. Встановлено проходження радіонуклідів через фетоплацентарний бар'єр [15,16]. Так, дорослі миші, які зазнали дії америцію, мали вкорочену тривалість життя та на 40 - 50 % вищий рівень захворювань на саркому, ніж контрольна група. У цих же дослідженнях установлено, що самиці мишей є більш чутливими за критерієм появи сарком, ніж самці. Нашадки самиць, яким на 14-й день вагітності вводили різні активності америцію, мали підвищений рівень різних онкозахворювань, хоча в цьому експерименті не простежувався зв'язок між частотою захворювань і значенням дози [17]. В іншому досліді було вивчено фетоплацентарну передачу ^{241}Am до плоду й розподіл плутонію та америцію в тканинах та оцінено їх дію на фетальні гематопоетичні тканини. Деякі з цих досліджень показали, що забруднення материнського організму америцієм або плутонієм у ранній або середній стадії вагітності призвело до пошкодження гематопоезу фетальної печінки або кісткового мозку [15].

Багатьма авторами підтверджується значна канцерогенність сполук америцію. Канцерогенну активність останніх показано в дослідженнях на мишах, щурах, собаках та інших тваринах [10, 17 - 19]. При введенні америцію піддослідним тваринам уражаються різні органи й тканини. Дюпорт П. узагальнив літературні дані про взаємозв'язок частоти появи злоякісних пухлин різної локалізації у людей та тварин з дозою опромінення від ^{241}Am і дійшов висновку, що існує певне порогове значення дози, нижче якого радіонуклід не виявляє канцерогенної дії [20].

Основними органами депонування америцію в організмі тварин та людини є скелет (до 90 %), печінка (до 5 %), м'язи та жирова тканина (3,5 %) [12]. В організмі людини америцій виводиться довше з м'язів, ніж з печінки. Коефіцієнт гастроінтестинальної абсорбції америцію у приматів становив $6 \cdot 10^{-4}$ [21].

Америцій взаємодіє з різними біохімічними лігандами, у тому числі з білками, амінокислотами, фосфоліпідами, оксикислотами та іншими метаболітами. Америцій (III) подібно до ізотопів плутонію проникає в кров у розчинній формі і швидко з'єднується з білками плазми, зокрема з сироватковим білком, трансферином. Цей комплекс має велику стабільність. Америцій і плутоній зв'язуються з трансферином та сіалопротеїном кісток, з білком печінки (феритином), що містить залізо. Зв'язок америцію (III) з білками не такий міцний, як плутонію (IV) з білками. Показано, що у вісцеральній масі моллюсків близько 10 % америцію було зв'язано з розчинними макромолекулами ліпофусцином та феритином. Виявлено також, що під час травного циклу америцій, поглинутий моллюсками з їжею, був пов'язаний з феритином, що може вказувати на наявність кореляції між шляхами метаболізму америцію та заліза [22]. На відміну від америцію, лише малу кількість цезію було виявлено в лізосомній фракції, і він не був зв'язаний з водорозчинними клітинними протеїнами. Це свідчить про наявність у моллюсків різних метаболічних шляхів америцію та цезію [23]. У цих же дослідженнях не було виявлено синтезу металотіонеїнів *de novo* після поглинання ^{241}Am . Можливо, це пов'язано з відсутністю в клітинах механізмів знешкодження даного абіогенного елемента.

Показано, що введення в організм щурів цитрату америцію супроводжується апоптозом у клітинах нирок [24]. Разом з тим спостерігаються різні типи пошкодження клітин: конденсація ядерного хроматину, фрагментація ядер, набрякання мітохондрій, порушення крист.

Ми змогли виявити дуже малу кількість робіт про дію ^{241}Am на рівні генів чи хромосоми [25, 26]. Певно, це питання зараз недостатньо вивчене, хоча воно є досить важливим з огляду на те, що дія пошкоджуючих факторів на спадковий апарат клітин, особливо генеративних, може мати вирішальне значення у формуванні пошкоджень. Так, показано вплив америцію на фізико-хімічні властивості молекул ДНК клітин деяких ссавців

[27]. В іншому дослідженні встановлено лінійну дозозалежну індукцію сестринських хроматичних обмінів (СХО) α -частинками ^{241}Am у культурі лімфоцитів людини (3,4 СХО на клітину і на 1 Гр) [25].

Метою нашої роботи було вивчення впливу ^{241}Am на рівень пошкодження хромосом у клітинах меристеми кореня проростків цибулі ріпчастої *Allium cepa* L.

Матеріали та методи

При встановленні генотоксичності різних факторів, як хімічних, так і фізичних, використання рослинних тест-систем є досить продуктивним, оскільки рослинні тести мають багато переваг порівняно з тестами, де використовуються інші організми. Вони є швидкими, недорогими та інформативними [28]. Деякі рослинні тест-системи рекомендовано як короткотермінові тести для первинної оцінки мутагенної дії різних факторів [29]. Тому при вивченні генотоксичної дії ^{241}Am нами було використано тест-систему кореневої меристеми цибулі ріпчастої. Дослідження проводили на насінні *Allium cepa* L. сорту Стригунівський. Встановлювали вплив випромінювання ^{241}Am на рівень хромосомних пошкоджень у клітинах кореневої меристеми проростків. На час проведення експерименту вік насіння *Allium cepa* L. становив 8 міс. Пророщування та фіксацію матеріалу проводили за раніше використаними та модифікованими нами методиками [30]. Насіння пророщували в чашках Петрі по 150 штук протягом трьох діб; усі досліди було проведено в трьох повторностях. Для упередження явища адсорбції іонів америцію (III) на поверхні чашок використовували пластикові чашки Петрі, γ -опромінене насіння пророщували у скляних чашках Петрі. Частоту клітин з мутаціями враховували в перших мітозах.

Насіння пророщували в розчинах хлориду ^{241}Am різних концентрацій, у діапазоні від $1,5 \cdot 10^{-9}$ до $1,5 \cdot 10^{-7}$ г/л (варіанти 3 - 8, див. таблицю). Для цього вихідний розчин хлориду америцію з концентрацією $3,0 \cdot 10^{-6}$ г/л (з активністю $1,75 \cdot 10^7$ Бк/л) розводили розчином Хогленда - Арнона (1/4) [31] або дистильованою водою (див. таблицю). Визначення активності ^{241}Am у зразках проводили методом низькофонової γ -спектрометрії з використанням напівпровідникового планарного детектора GL0515R (Canberra) з особливо чистого германію (ПШПВ = 570 еВ по лінії 122 кеВ) та портативної спектрометричної станції InSpector MCA. Визначення активності проводилось відносним методом. Точність калібрування за ефективністю з урахуванням різниці в геометрії зразків та використаного стандартного джерела становила 20 - 25%.

Умови пророщування насіння цибулі (активність середовища, концентрація хлориду ^{241}Am у розчині, розрахункові дані дози внутрішнього опромінення проростків) та енергія їх проростання

Варіант досліджу	Умови пророщування насіння		Концентрація хлориду ^{241}Am у розчині, г/л	Доза внутрішнього опромінення, сГр	Енергія проростання насіння на 3-тню добу, %
	Середовище	Активність розчину AmCl_3 , Бк/л			
1	Розчин Хогленда - Арнона (контроль)	0	0	$0,00 \pm 0,00$	$46,22 \pm 2,35$
2	Вода (контроль)	0	0	$0,00 \pm 0,00$	$40,89 \pm 2,32$
3	Розчин Хогленда - Арнона	$8,75 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$0,37 \pm 0,09$	$37,56 \pm 2,28$
4	Розчин Хогленда - Арнона	$1,75 \cdot 10^5$	$3,0 \cdot 10^{-9}$	$0,74 \pm 0,15$	$42,67 \pm 2,33$
5	Розчин Хогленда - Арнона	$8,75 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$3,70 \pm 0,74$	$37,56 \pm 2,28$
6	Вода	$8,75 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$3,70 \pm 0,74$	$36,44 \pm 2,27$
7	Вода	$1,75 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	$7,40 \pm 1,48$	$44,89 \pm 2,34$
8	Вода	$8,75 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$37,00 \pm 14,80$	$20,00 \pm 1,89$

Концентрації хлориду америцію в розчинах розраховували за їх активністю за формулою

$$m \text{ (г/л)} = (10^5 \cdot A \cdot C \cdot T^{1/2}) / N_A,$$

де A – атомна маса ^{241}Am ; C – активність, Бк/л; $T^{1/2}$ – період напіврозпаду, роки; N_A – число Авогадро.

Контрольним варіантом були проростки, отримані з насіння, пророщеного в середовищі без додавання хлориду америцію. Дослідження було проведене в два етапи, і в кожному з етапів брали окремий контроль (варіанти 1 та 2, див. таблицю).

З метою визначення відносної біологічної ефективності α -випромінювань необхідно було порівняти ефекти, викликані хлоридом ^{241}Am , з ефектами γ -опромінення. Для цього насіння цибулі опромінювали різними дозами γ -радіації від джерела ^{60}Co («Исследователь»), а потім пророщували в розчині Хогленда - Арнона. Як контроль використовували проростки з неопроміненого насіння.

При мікроскопічному вивченні меристематичної зони коренів враховували загальну кількість нормальних та аберантних ана-телофаз та мітотичну активність за кількістю клітин, які перебували в стадіях мітозу та інтерфази. Аберантними вважались клітини, в яких між двома групами дочірніх хромосом виявлялись ацентричні фрагменти, вагрантні хромосоми, хромосомні та хроматидні мости. Мітотичний індекс визначали, підраховуючи кількість мітозів та загальне число інтерфазних клітин [32]. Показник енергії проростання визначали на 72-гу годину після початку замочування насіння як процент пророслого насіння. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали за методом χ^2 [33].

Результати досліджень та їх обговорення

При аналізованні меристем проростків, опромінених γ -радіацією, спостерігався сильний вплив опромінення на рівень хромосомних пошкоджень та мітотичний індекс (рис. 1). Це не суперечить роботам інших авторів [34], підтверджуючи адекватність використаної нами тест-системи. При опроміненні в дозі вище 100 Гр виявились

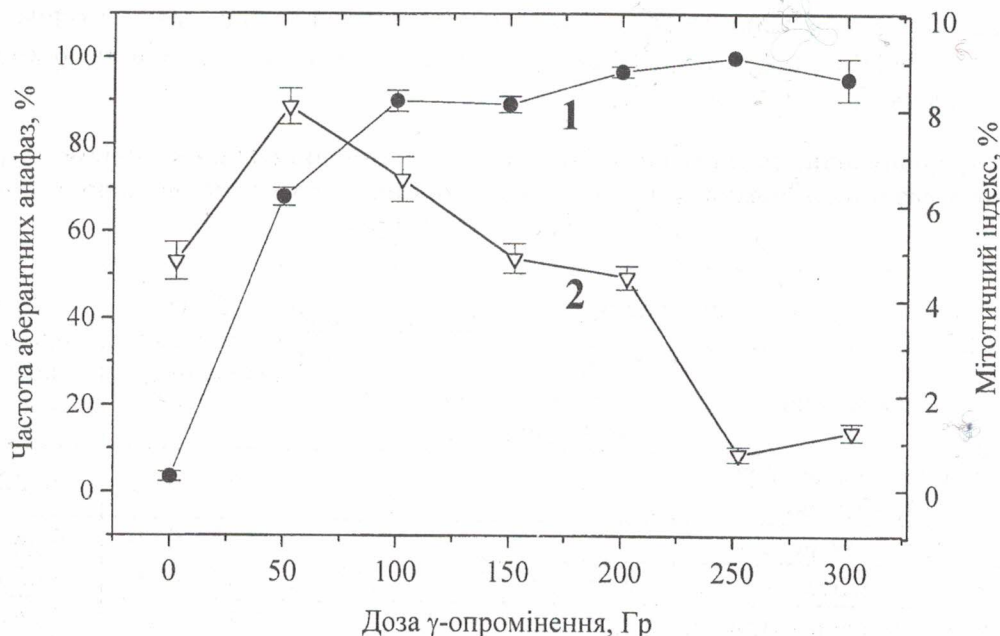


Рис. 1. Вплив γ -опромінення на рівень хромосомних пошкоджень (1) та мітотичний індекс (2) у клітинах кореневої меристеми *Allium cepa L.*

пошкодженими майже всі клітин. На фоні значних ушкоджень хромосом виявлено також сильне зниження мітотичного індексу в меристемах, особливо при опроміненні в дозах 250 та 300 Гр.

Для коренів проростків цибулі, що вирости у водних розчинах AmCl_3 , нами встановлено коефіцієнт накопичення (K_H) цього радіонукліда $K_H = 0,18 \pm 0,04$. Виходячи із значення K_H , а також коефіцієнта рівноважної дози для ^{241}Am , визначали дози, накопичені протягом трьох діб в апексі коренів. Майже 99 % дози в клітинах утворюється за рахунок α -опромінення. Доза від інших типів опромінення не перевищує 1 %. У зв'язку з цим можна очікувати високу генетичну ефективність внаслідок внутрішньоклітинного α -опромінення від ^{241}Am . Дані про концентрації розчинів хлориду ^{241}Am , дози внутрішнього опромінення, накопичені проростками під час пророщування, та енергію проростання насіння на третю добу наведено в таблиці.

Вплив ^{241}Am найбільш виразно проявився на показниках енергії проростання: при нижчих концентраціях виявлено стимуляцію енергії проростання, а при найвищій концентрації мало місце зниження цього показника в два рази (див. таблицю). Разом з тим, вивчаючи рівень хромосомних пошкоджень та мітотичний індекс у проростках, що підпали під дію ^{241}Am , ми не встановили істотних відмінностей від контролю (рис. 2 і 3). Лише у варіанті, де концентрація хлориду ^{241}Am становила $1,5 \cdot 10^{-8}$ г/л, нами виявлено найвище відхилення частоти хромосомних пошкоджень, а у варіанті з концентрацією хлориду ^{241}Am $3,0 \cdot 10^{-9}$ г/л виявлено статистично значиме зростання мітотичного індексу.

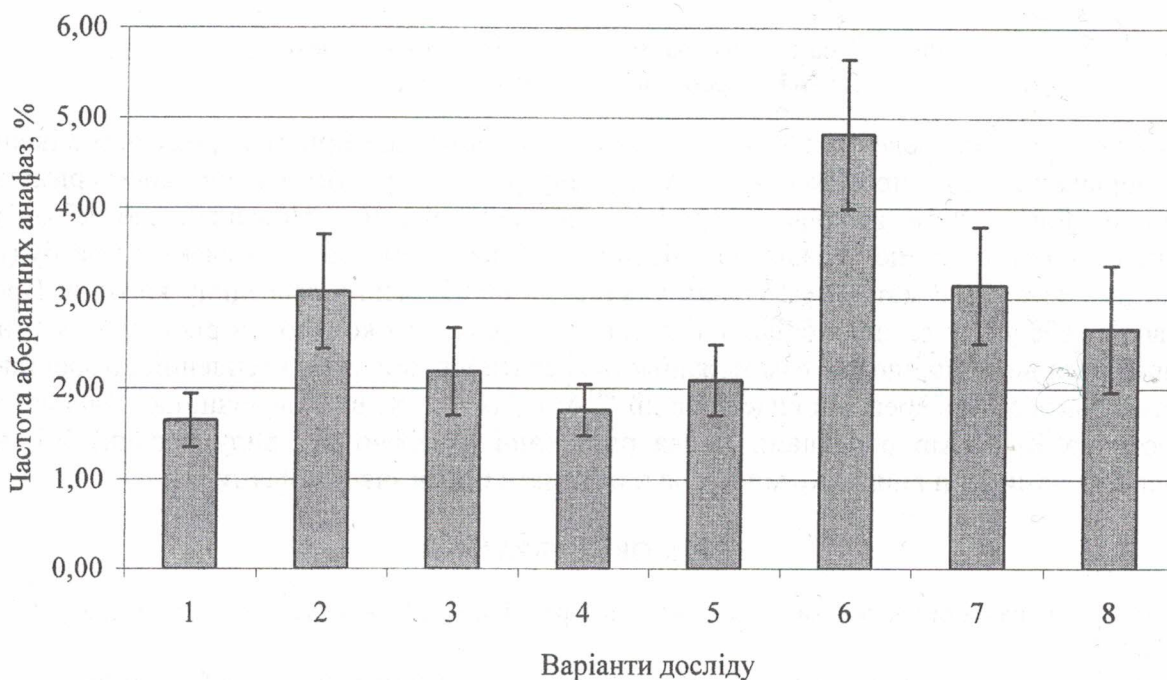


Рис. 2. Вплив ^{241}Am на рівень хромосомних пошкоджень у клітинах кореневої меристеми *Allium cepa L.*

Ми використали найвище значення рівня хромосомних пошкоджень (варіант 6) для визначення показника відносної біологічної ефективності (ВБЕ). При цьому було визначено еквівалентні дози α - та γ -випромінювань, що викликали рівні ефекти на прояви хромосомної нестабільності. Вони становили $2,15 \pm 0,20$ Гр при 4,84 % аберацій для γ -випромінювань та $0,04 \pm 0,01$ Гр при 4,83 \pm 0,83 % аберацій для α -випромінювань. Отже, ВБЕ α -випромінювань порівняно з γ -випромінюванням становила 58 ± 18 . При цьому необхідно зазначити, що умови опромінення α -радіацією та γ -променями були різними. З урахуванням того, що

γ-промені діяли в період спокою насіння (у час найвищої радіостійкості), істинне значення ВБЕ може бути нижчим.

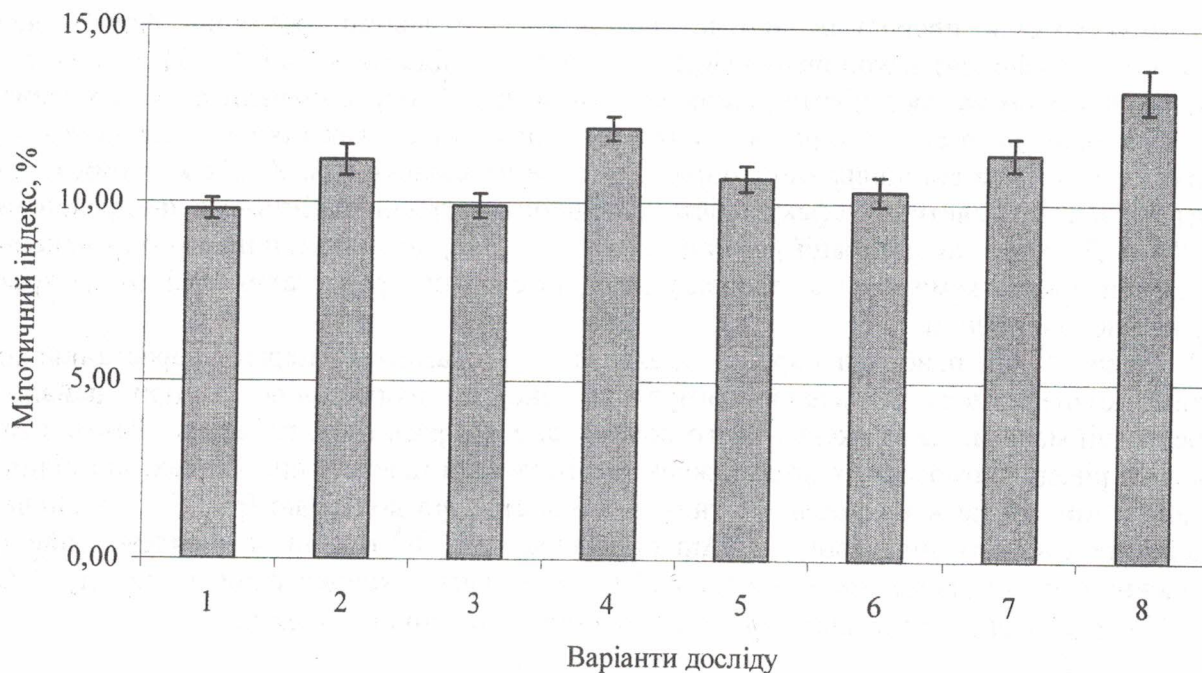


Рис. 3. Вплив ^{241}Am на показники мітотичного індексу в клітинах кореневої меристеми *Allium cepa L.*

Результати проведених нами досліджень показують, що при тих дозах опромінення, які створюються при проникненні ^{241}Am у внутрішній простір клітин, спостерігається незначний його вплив на рівень хромосомних пошкоджень. Можливо, що абсорбція америцію відбувається переважно на клітинних стінках, тому що цей елемент, не будучи біогенним, може й не мати спеціальних механізмів проникнення всередину клітини. Проте звертає на себе увагу те, що в більшості варіантів порівняно з контролем рівні хромосомних аберацій були вищими, що дає нам можливість вбачати в цьому прояв тенденції до зростання частоти хромосомних аберацій внаслідок дії ^{241}Am . До того ж, враховуючи, що деякі автори вказують на K_H ^{241}Am рослинами у два рази вищі (залежно від виду рослин) [4], ніж встановлені нами, при вищих K_H ми могли б отримати більш значні ефекти.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Проблемы радиобиологии америция-241* / Под ред. Ю. И. Москалева. – М.: Атомиздат, 1977. – 168 с.
2. *Сергазина Г. М., Балмуханов С. В.* Введение // Семипалатинский ядерный полигон: история строительства и функционирования. – Семипалатинск, ЦНТИ, 1999. – С. 5 – 9.
3. *Furnica G.* Long term risks of nuclear power // Nuclear Power in Romania, Potential Risks for Environment and Public Health. - Bucharest, 1996. - P. 89 - 90.
4. *Кудряшов В. П., Миронов В. П., Конопля Е. В.* Загрязнение основных компонентов экосистем на территории Беларуси трансурановыми элементами // Тез. докл. IV съезда по радиационным исследованиям (Москва, 20 – 24 ноября, 2001 г.). - М., 2001. – Т. II. – С. – 596.
5. *Fresquez P. R., Armstrong D. R., Mullen M. A., Naranjo L. J.* The uptake of radionuclides by beans, squash, and corn growing in contaminated alluvial soils at Los Alamos National Laboratory // J. Environ. Sci. Health B. – 1998. – Vol. 33, No. 1. – P. 99 - 121.
6. *Bunzl K., Kracke W.* Soil to plant transfer of $^{239,240}\text{Pu}$, ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{137}Cs and ^{90}Sr from global fallout in flour and bran from wheat, rye, barley and oats, as obtained by field measurements // Sci. Total. Environ. - 1987 – Vol. 63. – P. 111 – 124.

7. *Popplewell D. S., Ham G. J., Johnson T. E. et al.* The uptake of plutonium-238, 239, 240, americium-241, strontium-90 and caesium-137 into potatoes // *Sci. Total. Environ.* – 1984 – Vol. 38. – P. 173 – 181.
8. *Бондаренко О. А.* Методы изучения формирования доз облучения от трансурановых элементов. – Киев: Наук. думка, 1998. – 134 с.
9. *Ellender M., Harrison J. D., Pottinger H. E., Thomas J. M.* Osteosarcoma induction in mice by the alpha-emitting nuclides, plutonium-239, americium-241 and uranium-233 // *Proceedings of 9 International congress of the International Radiation Protection Association, Vienna.* - 1996. – Vol. 4. - P. 67 – 69.
10. *Lloyd R. D., Taylor G. N., Angus W., Miller S. C.* Soft tissue tumors in beagles injected with ²⁴¹Am citrate // *Health Phys.* – 1995. – Vol. 68, No. 2. – P. 225 – 233.
11. *Schlenker R. A., Thompson E. G., Oltman B. G., Toohey R. E.* Bone surface concentrations and dose rates 11 years after massive accidental exposure to Am-241 // *Health Physics.* - 1995. – Vol. 69, No. 3. - P. 324 – 328.
12. *McInroy J. F., Kathren R. L., Toohey R. E.* Postmortem tissue contents of Am-241 in a person with a massive acute exposure // *Health Physics.* - 1995. – Vol. 69, No. 3. - P. 318 – 323.
13. *Toohey R. E., Kathren R. L.* Overview and dosimetry of the Hanford americium accident case // *Health Physics.* - 1995. – Vol. 69, No. 3. - P. 310 – 315.
14. *Filipy R. E., Kathren R. L.* Changes in soft tissue concentrations of plutonium and americium with time after human occupational exposure // *Health Phys.* – 1996. – Vol. 70, No. 2. – P. 153 – 159.
15. *Kubota Y., Takahashi S.* Fetoplacental transfer of plutonium and the effects on fetal hematopoiesis // 30 NIRS symposium on stochastic effects of radiation and their modification (China, 19 - 20 Nov. 1998) - Hoshasen-Kagaku, 1999. - Vol. 42, No. 6. - P. 152 – 161.
16. *Zallinger C., Tempel K.* Transplacental transfer of radionuclides // *von Zentralbl Veterinarmed A.* - 1998. – Vol. 45, No. 10. – P. 581 – 590.
17. *Van den Heuvel R., Gerber G. B., Leppens H., et al.* Long-term effects on tumour incidence and survival from ²⁴¹Am exposure of the BALB/c mouse in utero and during adulthood // *Int. J. Radiat. Biol.* – 1995. – Vol. 68, No. 6. – P. 679 – 686.
18. *Lloyd R. D., Miller S. C., Taylor G. N., et al.* Relative effectiveness of Pu-239 and some other internal emitters for bone cancer induction in beagles // *Health Physics.* - 1994. – Vol. 67, No. 4. - P. 346 – 353.
19. *Terzaghi-Howe M., Ford J. R., Turner J. E.* Influence of cell position relative to planar alpha-particle sources on survival and preneoplastic transformation of primary rat tracheal epithelial cells // *Radiat. Res.* - 1996. – Vol. 145, No. 4. – P. 432 – 441.
20. *Duport P.* Health effects of low doses and dose rates of internally deposited alpha and beta emitters // *Bulletin of Radiation Protection.* - 1995. – Vol. 18, No. 1 - 2. - P. 29 – 37.
21. *Ham G. J., Harrison J. D., Popplewell D. S., et al.* The gastrointestinal absorption of neptunium, plutonium and americium in a primate (*C. jacchus*) // *Sci. Total. Environ.* – 1994. – Vol. 145, No. 1 - 2. – P. 1 – 6.
22. *Goudard F., Paquet F., Durand J. P., et al.* Biodynamic study of americium-241 accumulation in the cytosol of the hepatopancreas of the lobster *Homarus gammarus* // *Biochem. Mol. Biol. Int.* – 1994. – Vol. 33, No. 5. – P. 841 – 851
23. *Milcent M. C., Goudard F., Durand J. P., et al.* Identification of ¹³⁷Cs- and ²⁴¹Am-binding sites in the oyster *Crassostrea gigas* // *Biochem. Mol. Biol. Int.* – 1996. – Vol. 39, No. 1. – P. 137 – 148.
24. *Labejof L., Berry J.P., Duchambon P., et al.* Apoptosis of rat kidney cells after ²⁴¹americium administration // *Anticancer Res.* – 1998. - Vol. 18, No. 4A. – P. 2409 – 2414.
25. *Schmid E., Roos H.* Dose dependence of sister chromatid exchanges in human lymphocytes induced by in vitro alpha-particle irradiation // *Radiation and Environmental Biophysics.* - 1996. - Vol. 35, No. 4. - P. 311 – 314.
26. *Tanaka K.* Radiation-induced chromosomal instability and carcinogenesis // *Hoshasen-Seibutsu-Kenkyu.* - 1996. Vol. 31, No. 2. - P. 120 – 135.
27. *Georgakilas A. G., Sophianopoulou V., Sideris E. G.* Enhanced DNA stability as a result of low doses of alpha- and gamma-irradiation // *Annual meeting of the European Society for Radiation Biology (Montpellier, 1 - 4 Sep. 1996).* - *Radioprotection.* - Vol. 32. - P. 101 – 102.
28. *Grant W. F.* The present status of higher plant bioassays for the detection of environmental mutagens // *Mutat. Res.* – 1994. – Vol. 310, No. 2. – P. 175 – 185.

29. *Руководство по краткосрочным тестам для выявления мутагенных и канцерогенных химических веществ.* - Женева: ВОЗ, 1989. - 212 с.
30. *Куцоконь Н. К., Неумержицька Л. В., Бариляк І. Р.* Оцінка генетичної активності проб води, взятих на території водойм м. Києва // Проблеми екологічної та медичної генетики і клінічної імунології. - 1999. - Вип. 2 (22). - С. 13 – 18.
31. *Гродзинський А. М., Гродзинський Д. М.* Краткий справочник по физиологии растений. - Киев: Наук. думка, 1973. – 590 с.
32. *Паушева З. П.* Практикум по цитологии растений. - М.: Агропромиздат, 1988. - 271 с.
33. *Лакин Г. Ф.* Биометрия. - М.: Высш. шк., 1980. - 293 с.
34. *Лучник Н. В.* Биофизика цитогенетических поражений и генетический код. – М.: Медицина, 1968. – 295 с.

ОЦЕНКА ГЕНОТОКСИЧНОСТИ ^{241}Am В ТЕСТ-СИСТЕМЕ КЛЕТОК КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЫ ПРОРОСТКОВ *ALLIUM CEPA L.*

Н. К. Куцоконь, Д. М. Гродзинський, Н. М. Рашидов, В. В. Тришин

Цель настоящей работы – изучение влияния ^{241}Am на уровень повреждения хромосом в растительной тест-системе. На проростках лука *Allium cepa L.* установлено влияние излучений ^{241}Am на уровень хромосомных aberrаций (ХА) в клетках корневой меристемы проростков (по частоте aberrантных анафаз), митотический индекс (МИ) и энергию прорастания (ЭП). Семена проращивали в растворах $^{241}\text{AmCl}_3$ различных концентраций ($1,5 \cdot 10^{-9}$ - $3,0 \cdot 10^{-7}$ г/л). Установленный нами коэффициент перехода ^{241}Am из водного раствора в растительный организм составлял $0,18 \pm 0,04$. Для определения относительной биологической эффективности (ОБЭ) α -излучений сравнивали эффекты, вызванные хлоридом ^{241}Am , с эффектами γ -облучения. При действии γ -лучей наблюдалось сильное влияние как на частоту ХА, так и на МИ. Влияние ^{241}Am наиболее четко проявилось при действии на ЭП. При изучении уровня ХА в проростках, которые накапливали ^{241}Am , не было установлено достоверных различий от контроля. В варианте с концентрацией ^{241}Am $1,5 \cdot 10^{-8}$ г/л наблюдалось наибольшее отклонение частоты ХА. По этому наивысшему значению определен показатель ОБЭ, равный 58 ± 18 . Вследствие различий в условиях облучения α -частицами и γ -лучами истинное значение ОБЭ может оказаться несколько ниже.

EVALUATION OF ^{241}Am GENOTOXICITY IN TEST-SYSTEM OF *ALLIUM CEPA L.* SEEDLINGS ROOT TIP CELLS

N. K. Kutsokon, D. M. Grodzinsky, N. M. Rashidov, V.V. Trishin

The present study was designed to elucidate the rate of chromosome damages induced by ^{241}Am in plant test-system. The seedlings of onion *Allium cepa L.* were used as a test-system. The impact of ^{241}Am - irradiation on the frequency of chromosome aberration (FCA) in root tip cells (using anaphase method), mitotic index (MI) and energy of germination (EG) was evaluated. The seed were soaked and germinated in $^{241}\text{AmCl}_3$ solutions different concentrations ($1,5 \cdot 10^{-9}$ - $3,0 \cdot 10^{-7}$ g/l). Water solution-to-plant transfer factor for Am^{241} was found to be $0,18 \pm 0,04$. The effect of γ -irradiation on FCA on the same assay was also evaluated for comparison with that of ^{241}Am to establish the relative biological effectiveness (RBE) of ^{241}Am . We revealed strong effects on both FCA and MI at γ -irradiation. The clearest impact of ^{241}Am -irradiation on EG-parameter was registered. We had not received statistically significant values that could demonstrate any changes in FCA in seedlings grown on ^{241}Am -contained solution in comparison with the control. We revealed the greatest rate of difference of FCA in one case, than concentration of ^{241}Am in solution was $1,5 \cdot 10^{-8}$ g/l. This rate was taken to account the RBE and it amounted to 58 ± 18 . The real number of RBE should be some lower due to differences between condition of α - and γ -irradiation.

Надійшла до редакції 01.02.02,
після доопрацювання – 04.04.02.