

УДК 57.017.32 : 57.044 : 58.04

С. А. Пчеловська✉

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії Національної академії наук України, вул. Васильківська 31/17, Київ, 03022, Україна

ОЦІНКА АДАПТАЦІЇ РОСЛИН КУКУРУДЗИ (*ZEA MAYS L.*) ДО ДІЇ ХЛОРИДУ КАДМІЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ФАКТОРУ РАДІОЄМНОСТІ

Мета. Показати можливість використання фактору радіоємності для вивчення явища адаптації рослин кукурудзи до дії токсичного фактору, а саме – внесення в середовище живлення розчину хлориду кадмію. Метод оцінки реакції рослин кукурудзи на дію хімічного стресору за зміною їх поглинальної активності, яку відображає фактор радіоємності, пропонується як зручний та адекватний показник зміни стану досліджуваного об'єкту.

Матеріали та методи. Експерименти проводились в лабораторних умовах, об'єктом досліджень були процеси адаптації водної культури рослин кукурудзи (*Zea mays L.*) сорту Придністровська (*Prydnistrovska*) до дії токсичного металу. Розчин хлориду кадмію вносився в поживне середовище рослин в концентраціях, вибраних відповідно до стандартної адаптаційної схеми експерименту. Згідно з цією схемою, спочатку вносились адаптивна концентрація (1 мкМ/л або 2 мкМ/л солі CdCl_2), а через певний час (Δt) – тест-концентрація (25 мкМ/л солі CdCl_2). Оцінка адаптації рослин кукурудзи проводилась за зміною ростових показників та фактору радіоємності. Останній визначали як відношення поточної активності у воді (середовищі) по спеціально внесеному трасеру – ^{137}Cs , до початкової.

Результати та висновки. Отримано концентраційні залежності фактору радіоємності рослин, а також залежності при адаптивному та стресовому впливах. Виявлено залежність прояву адаптації від величини часового інтервалу між адаптуючою і тестуючою концентраціями хлориду кадмію. Зокрема, адаптація спостерігалась при застосуванні “тест-концентрації” 25 мкМ/л через 24 год після внесення адаптуючих концентрацій CdCl_2 1 мкМ/л та 2 мкМ/л в середовище живлення рослин. При внесенні тестуючої концентрації через 4 год після адаптуючої, спостерігали сенсibiliзуючу дію солі CdCl_2 на ростові та поглинальні характеристики рослин. Показано, що фактор радіоємності є адекватним, чутливим показником, який відображає реакцію рослин на стресовий вплив в умовах застосування адаптаційної схеми впливу.

Ключові слова: стресовий вплив, адаптація, фактор радіоємності, хлорид кадмію.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2014. Вип. 19. С. 431–440.

S. A. Pchelovska✉

Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Science of Ukraine, Department of Biophysics and Radiobiology, Vasilkovska street 31/17, Kyiv, 03022, Ukraine

The assessment of maize plants (*Zea mays L.*) adaptation to the cadmium chloride influence using the radiocapacity factor

Objective. Show the possibility of method of the radiocapacity factor using for the study the phenomenon of adaptation of maize plants to the action of toxic factor – namely, introducing into the habitat of cadmium chloride solution. This method is proposed as convenient and adequate indicator of change of state of the objects under chemical stressor influence.

Materials and methods. Experiments were performed in the laboratory, the object of research were the processes of water culture of maize plants (*Zea Mays L.*) variety *Prydnistrovska* adapting to the toxic metal action. Cadmium chloride solution was entered to the culture medium of plants at concentrations, selected according to the standard adaptive scheme of the experiment. Under this scheme, adaptive concentration (1 $\mu\text{M/L}$ and 2 $\mu\text{M/L}$ of salt CdCl_2)

✉ Пчеловська Світлана Анатоліївна, e-mail: pchelov80@mail.ru

was entered first, and through certain time (Δt) – test concentration (25 $\mu\text{M/L}$ of salt CdCl_2). The assessment of maize plants adaptation was carried out by the changing of growth parameters and of radiocapacity factor. The radiocapacity factor defined as the ratio of current activity in water (medium) by the specifically inserted tracer – ^{137}Cs to the initial.

Results and conclusions. The radiocapacity factor concentration dependence and dependencies under adaptive and stress influences to plants was obtained. The dependence of adaptation on the time interval between the test and adapting concentrations of cadmium chloride was revealed. And the effect of sensibilization on the growth and absorbing characteristics of plants of salt CdCl_2 when the test concentration 25 $\mu\text{M/L}$ entered at 4 hours after adaptive concentrations (1 $\mu\text{M/L}$ and 25 $\mu\text{M/L}$) application was observed. It is shown that the radiocapacity factor is adequate, sensitive and efficient indicator manifesting the response of plants to stress influence in the conditions of adaptive schemes of influence using.

Key words: stress factors, adaptation, radiocapacity factor, cadmium chloride.

Problems of radiation medicine and radiobiology. 2014;19:431-440.

ВСТУП

Одним з головних напрямків сучасної біології є дослідження надійності та стійкості біологічних об'єктів до дії екстремальних чинників навколишнього середовища – екстремально низьких та високих температур, посухи, кисневого голодування, важких металів, іонізуючої радіації тощо [1–5]. Добре відомо, що живі організми дуже чутливі до спотворень зовнішнього середовища незалежно від того, є вони змінами фізичних чи біотичних факторів. Пряме погіршення середовища може відобразитися на організмах як у зниженні здатності до репродукції, загибелі особин, популяцій та цілих видів, порушення екологічних ніш, трофічних ланцюгів, так і в деградації усього біоценозу. Ступінь пошкоджень, зазвичай, залежить від сили пошкоджуючого фактору, а також від темпів погіршення середовища. Відомо, що живі системи не є пасивними, вони проявляють значну пластичність, тобто можуть перебудовувати свою структуру та метаболізм таким чином, що в кінцевому випадку ці порушення стають частково або повністю нешкідливими для них [1]. В таких випадках говорять про здатність організмів до адаптації або про їх пристосування.

Тому одним із найбільш актуальних питань сучасної радіобіології є вивчення ефектів, що викликані дією різних стресових факторів, а також процесів відновлення і адаптації до них. Адаптивна реакція – це складний динамічний процес, тому для його вивчення необхідно застосування таких методів, які могли б максимально оперативно і в найбільш щадний для рослин спосіб враховувати його багатозначність. Саме таким є запропонований нами метод оцінки фактору радіємності. Раніше нами було показано можливість та зручність застосування фактору радіємності до оцінки стану біоти модельних екосистем в умовах дії шкідливих факторів [6–8]. В експеримен-

INTRODUCTION

One of the main directions of modern biology is to study the reliability and stability of biological objects to extreme environmental factors – extreme low and high temperatures, drought, hypoxia, heavy metals, ionizing radiation, etc. [1–5]. It is well known that living organisms are very sensitive to distortions of the environment irrespective of whether they change physical or biotic factors. Direct deterioration of environment may appear on the organisms both in reducing the ability to reproduction, the death of individuals, populations and whole species, violation of environmental niches, trophic chains, and the degradation of the entire ecological community. The degree of damage usually depends on the strength of damaging factors, and the rate of deterioration of environment. It is known that living systems are not passive, they exhibit considerable flexibility, meaning they can rebuild their structure and metabolism so that ultimately these abnormalities are partially or wholly harmless for them [1]. In such cases we speak of the ability of organisms to adapt or their adaptation.

An important objective of modern radiobiology is the study of effects caused by the action of various stress factors on living organisms, as well as the recovery processes and adaptation to stressful influences. Adaptive response is a complex dynamic process, so it is necessary to study the use of such methods, which could as quickly as possible and in the most sparing way for plants to consider its multiphase. Precisely such is method of radiocapacity factor evaluation offered by us. It was previously shown by us the ability and convenience of radiocapacity factor application to the assessment of state of biotic component of model ecosystem under the

тах на водній культурі рослин кукурудзи було показано, що фактор радіоємності – зручний, адекватний показник зміни стану рослин в умовах дії радіаційного та хімічного стресових факторів при різних режимах їх застосування (гостро, фракціоновано та при одночасній дії двох різних стресорів). Фактор радіоємності – це частка (відсоток) радіонуклідів від загальної кількості в екосистемі, яка утримується біотичним компонентом цієї системи і за своїм дозовим впливом ще не здатна порушити основні функції біоти: здатність зберігати біомасу та кондиціювати середовище існування [7]. Суть запропонованого методу оцінки фактору радіоємності полягає в спостереженні за поглинанням спеціально внесеного в поживне середовище трасера – радіонукліду ^{137}Cs (хімічного аналогу макроелементу калію), рівень поглинання якого рослинами здатний відображати їх фізіологічний стан. Як було показано раніше, питомі активності ^{137}Cs , що використовувались (близько 3,0 кБк/л) не виявляли впливу на ростові процеси рослин, тобто не могли скласти конкуренцію калію, що знаходився в поживному середовищі [9–11]. Зміни фактору радіоємності в умовах дії радіаційного та токсичного факторів (γ -опромінення рослин та внесення хлориду кадмію в поживне середовище) корелювало зі змінами ростових показників рослин [12]. Зменшення значень фактору радіоємності рослин вказує на зниження їх поглинальної активності відносно спеціально внесеного трасера ^{137}Cs , що, в свою чергу, говорить про погіршення стану рослин. Використання радіометричного методу визначення активності спеціально внесеного в поживний розчин радіонукліду, дозволяє отримати детальну картину зміни стану рослин в умовах дії на них інгібуючих рівнів стресорів [10, 13]. Враховуючи, що метод оцінки фактору радіоємності є більш щадним для рослин та значно менш трудомістким ніж, наприклад, вимірювання ростової активності рослин [12, 14, 15], використання методу оцінки фактору радіоємності для вивчення процесів адаптації рослин до зовнішніх стресорів є доцільним.

МЕТА

Мета даної роботи – застосування методу оцінки фактору радіоємності для вивчення явища адаптації рослин кукурудзи в умовах дії токсичного фактору – хлориду кадмію. Цей метод вже застосовували для вивчення адаптації рослин кукурудзи до дії γ -опромінення, тому в даній роботі планується довести можливість його використання і у випадку дії токсичного чинника.

action of harmful factors [6-8]. In experiments on water culture of maize plants has been shown that the factor radiocapacity is a convenient, adequate indicator of changes in the state of plants under conditions of radiation and chemical influence in different modes of use (acute, fractionated, and the simultaneous action of two different stressors). Radiocapacity factor is a dimensionless quantity, which is defined as the maximum amount of radionuclides, which by its exposure dose is not yet able to violate the basic functions of the biota: the ability to maintain the biomass and condition habitat [7]. The essence of the proposed method of radiocapacity factor estimation is to observe by the absorption specially introduced into the culture medium tracer – radionuclide ^{137}Cs (chemical analogue of potassium macroelement), the level of its uptake by plants able to display their physiological state. As shown earlier, the specific activity of ^{137}Cs , used (about 3000 Bq/L) not show effect on the growth processes of plants i.e. could not make competition potassium, which was in the nutrient medium [9–11]. Changing the radiocapacity factor under the action of radiation and toxic factors (γ -irradiation and introduction of cadmium chloride into the nutrient medium) correlated with changes in growth indicators [12]. Reducing of the radiocapacity factor values of plants give evidence of worsening of their sorption activity concerning specially introduced tracer ^{137}Cs , what, in turn, said about the impairment of state of plants. Using of the radiometric method for determining the specially introduced radionuclide activity in the nutrient solution provides a detailed picture of changes in the state of plants exposed to inhibition stressors action [10, 13]. Taking into account that the method of radiocapacity factor evaluation is more sparing for plants and much less labor intensive than, for example, measuring of the growth activity of plants [12, 14], its using for the study of plant adaptation to external stressors influences is appropriate.

OBJECTIVE

The aim of this work was to apply the radiocapacity factor to study the phenomenon of plant adaptation to the action of the toxic factor – namely, cadmium chloride solution introducing into the habitat of plants. This method already has been used to study adaptation of maize plants to action γ -irradiation, so this work is planned to bring the possibility of its use in the case of toxic factor exposure.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Метод оцінки фактору радіоємності полягає у визначенні поглинальної активності рослинних об'єктів за відсотком радіоактивності, яка залишається в культуральному середовищі після певного періоду інкубації на ньому досліджуваного об'єкта. Науковим підґрунтям цього методу є встановлені факти прямого зв'язку стану рослин з поглинальною здатністю їх кореневої системи, яку визначали за поглинанням ^{137}Cs з водного розчину його хлориду [10, 11, 13].

Скляний посуд, що використовувався в дослідженнях, попередньо обробляли протягом трьох діб розчином хлориду стабільного цезію (^{133}Cs) в концентрації 0,1 М, з метою виключити подальшу можливість сорбції іонів радіоактивного цезію внутрішніми стінками посудин. Спеціальна перевірка показала, що в посуді, обробленому розчином хлориду стабільного цезію, активність радіоактивного цезію не змінювалась, залишаючись на рівні початкової. Це, в свою чергу, дало нам можливість вважати, що зменшення активності в поживному середовищі при наявності рослин було обумовлено виключно надходженням радіонукліду до рослин.

Фактор радіоємності (F_b) для кожного з дослідних варіантів розраховували наступним чином:

$$F_b = I - A_i / A_0;$$

де A_i – активність поживного розчину в i -й момент спостереження (її ми безпосередньо вимірювали в ході експерименту), A_0 – активність розчину на початок досліду (спеціально внесена активність) [9].

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

$$F_{b \text{ норм.}} = (F_{bi} / F_{b \text{ контр.}}) \times 100 \text{ \%}.$$

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

В експериментах використовували тридобові проростки кукурудзи (*Zea mays* L.) сорту Придністровська (Prydnistrovska). Для пророщування відбирали непошкоджене насіння кукурудзи і поміщали його в ростильні на зволожені підкладки по 50 насінин в кожну. Ростильні поміщали в термостат на 3 доби для пророщування при температурі 24 °С. Проростки в кількості 20–25 шт. висаджували в скляні 0,5 л ємності з відстояною водою з водогону. Повторність кожного варіанту була трьохкратною. В якості трасе-

MATERIALS AND METHODS

Investigations were carried out using the method of assessment radiocapacity factor, the essence of which is to determine the sorption activity of plant facilities share (percentage) of radioactivity which remains in culture medium after a defined period incubation of the object on it. The scientific basis of this method is the established facts of direct connection state of plant with the absorption capacity of the root system, which was determined by absorption of ^{137}Cs of an aqueous solution of its chloride [10, 11, 13].

Glassware that was used in studies preliminary treated for three days of stable cesium chloride solution (^{133}Cs) in concentration 0.1 M, in order to exclude the possibility of further sorption of radioactive cesium by internal walls of the vessels. The special test showed that in the vessels treated with a solution of stable cesium chloride, radioactive cesium activity did not change by staying at the level of the original. This, in turn, gave us opportunity assume that the decrease in activity in culture medium in the presence of plants was due exclusively by transfer of radionuclides to plants.

The radiocapacity factor (F_b) for each of the experimental variants was calculated as follows:

$$F_b = I - A_i / A_0$$

where A_i – activity of the nutrient solution in the i -th moment of observation (it was measured directly during the experiment), A_0 – activity of the solution at the initial time (specially introduced activity) [9].

Normalization of the calculated values of F_b was carried out by dividing the value into the corresponding i -th moment of observation (F_{bi}) on the F_b value for the control ($F_{b \text{ contr.}}$) and multiplying by 100 %:

$$F_{b \text{ norm.}} = (F_{bi} / F_{b \text{ contr.}}) \times 100 \text{ \%}.$$

Thus obtained estimates of sorption activity were then used to construct the radiocapacity factor of plants dose and time-dependences.

The three-day seedlings of maize varieties Prydnistrovska were used in experiments. Undamaged maize seeds were selected and placed in germinators on moist linings 50 seeds each for germination. Germinators placed in a thermostat for 3 days germination at 24 °C. Seedlings in the number of 20–25 pieces planted in 0.5 liter glass jars with pooled water from the water supply. Each variant was repeated three times. As tracer ^{137}Cs into water was added in the form of chlo-

ру в воду додавали ^{137}Cs у вигляді хлориду. Висхідна (на початок експерименту) радіоактивність по ^{137}Cs в банках складала 1,5 кБк (в 0,5 л). З інтервалом в 1 добу протягом 8–10 днів проводили вимірювання залишкової активності в ємностях з допомогою γ -спектрометра СЕГ-05 (Україна), в якому в якості детектора використано монокристал NaI. Для дослідження впливу внесення хлориду кадмію на ростові характеристики, кожного дня вимірювали довжину головного кореня проростків. Потім обчислювали швидкість росту і також нормували ці значення, відносячи їх до значень контрольного варіанту.

Для дослідження адаптації використовували стандартну схему, згідно з якою варіанти спочатку піддавали адаптуючому впливу (АД), а через деякий час (Δt) застосовували тест-дозу (ТД). Для цього в воду додавали “адаптуючу” концентрацію розчину солі CdCl_2 , а через певний час Δt – “тестуючу” концентрацію. В якості модифікуючого впливу застосовували концентрацію хлориду кадмію, яка чинить стимулюючий вплив на ростові показники і на показники активності поглинання речовин з розчину – фактору радіоємності. Цю концентрацію вибирали в результаті вивчення концентраційних залежностей фактору радіоємності та ростових показників (швидкості росту головного кореня) рослин кукурудзи.

Експериментальні дані обробляли загальноприйнятими методами варіаційної статистики [15].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Для того, щоб визначити, яка доза/концентрація токсичного впливу виявляє стимулюючу дію, було побудовано концентраційні залежності ростових та поглинальних характеристик рослин кукурудзи, які росли в умовах водної культури при додаванні у воду хлориду кадмію в концентраціях 1, 5, 25, 40 та 50 $\mu\text{M}/\text{l}$ (рис. 1). Тут представлено динаміку ростової та поглинальної активності рослин протягом перших двох діб, оскільки пізніше стимуляція не спостерігається.

Можна бачити, що стимулюючий вплив і на ростові, і на поглинальні показники проростків кукурудзи спостерігається при концентрації в культуральному середовищі солі кадмію 1 $\mu\text{M}/\text{l}$. Для обох показників така стимуляція чітко спостерігається протягом першої доби. Також, порівнюючи ці два графіки, можна бачити, що динаміка фактору радіоємності більш чітко відображає різницю впливу різних концентрацій солі CdCl_2 . Для ростових характеристик відмічаються значні коливання, які ускладнюють інтерпретацію отриманих результатів. Для чіткої кар-

ride. The initial (at the beginning of the experiment) radioactivity of ^{137}Cs in jars was 1500 Bq (in 0.5 l). Measuring of the residual activity in jars during 8–10 days at intervals of 1 day were carried out using γ -spectrometer SEG-05 (Ukraine), whose work is based on single crystal NaI detector. To study the impact of the introduction of cadmium chloride on growth characteristics length of the main root of seedlings were measured daily. Then the growth rate calculated and also normalized these values by relating them to the values of the control variant.

A standard scheme for the study of adaptation whereby variants was subjected to the first impact of adaptation dose/concentration (AD), and after some time (Δt) applied a test dose/concentration (TD), was used. For this purpose the concentration of salt solution CdCl_2 was added to water “for adaptation”, and over time (Δt) the “testing” concentration added. The concentration of CdCl_2 provided some stimulation on the growth parameters and indicators of absorption activity of substances from the solution – radiocapacity factor, was applied as a modifying influence. This concentration of CdCl_2 was chosen as a result of studying of the concentration dependences of growth and radiocapacity parameters.

Experimental data processed conventional methods of variation statistics [15].

RESULTS AND DISCUSSION

In order to determine what dose/concentration of the toxic effects reveals a stimulation effect, concentration dependence of growth and absorptive characteristics of water culture maize plants were growing in conditions of adding cadmium chloride into the water in concentrations of 1, 5, 25, 40 and 50 $\mu\text{M}/\text{L}$ was built (Fig. 1). Here presented a dynamics of growth and absorption activity of plants during the first two days, because afterwards stimulation was not observed.

It is seen that concentration 1 $\mu\text{M}/\text{L}$ of cadmium chloride has influenced the stimulatory effect on the growth and absorption indicators. Especially clear this effect is observed on the first day for both parameters. Also, comparing these two graphs, we can see that the dynamic of radiocapacity factor more clearly reflects the difference in the effect of different concentrations of salt CdCl_2 . It is observed significant fluctuations for the growth characteristics that complicate interpretation of results. For a clear picture of plant response to the

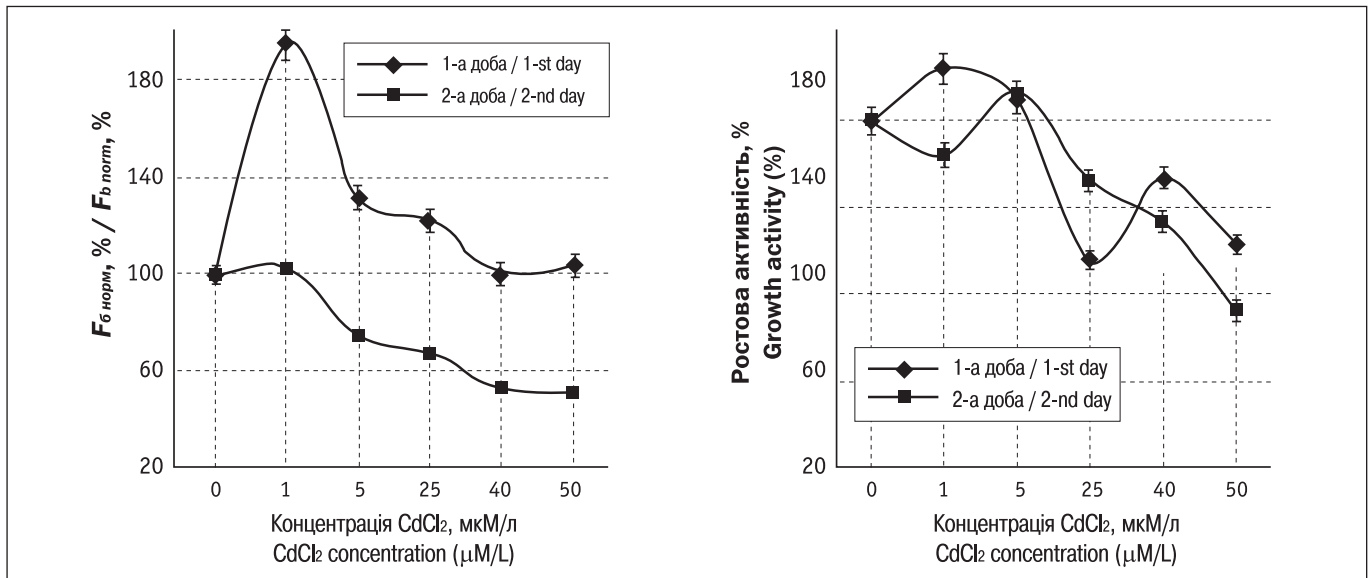


Рисунок 1. Концентраційна залежність впливу хлориду кадмію на поглинальну (зліва) та ростову (справа) активність проростків кукурудзи: 1 – перший день спостереження; 2 – другий день спостереження

Figure 1. The radiocapacity factor F_b norm of maize plants (left) and growth activity of plants main roots (right) CdCl₂ concentration dependences 1 – for the first day of observation, 2 – for the second day

тини реакції рослин на дію стресових факторів необхідно більш тривале спостереження, в порівнянні з фактором радіємності. Це ще раз доводить зручність та меншу трудомісткість запропонованого в цій роботі методу фактору радіємності.

Отже, аналіз концентраційних залежностей ростових і поглинальних характеристик привів до висновку, що в якості адаптуючої концентрації кадмію хлориду доцільно використовувати 1 мкМ/л. В якості тест-дози обрали концентрацію солі кадмію в концентрації 25 мкМ/л. Інтервали між адаптуючим та тестуючим впливом вибрали рівними 4 та 24 год.

Динаміка фактору радіємності для варіанту із застосуванням тестуючої концентрації хлориду кадмію 25 мкМ/л з інтервалом 24 год після внесення модифікуючої концентрації 1 мкМ/л показує наявність адаптивного ефекту (рис. 2). Такий висновок можна зробити з порівняння кривої (5) для цього варіанту з кривими варіантів незалежного застосування адаптивної (2) та тест-концентрацій (3). Видно, що протягом перших 4 діб значення фактору радіємності для варіанту із застосуванням адаптаційної схеми перевищують на 10–15 % значення для варіантів із застосуванням окремо 1 мкМ/л і 25 мкМ/л CdCl₂. На 8-му добу спостереження значення фактору радіємності всіх дослідних варіантів наближаються до контрольних, але тенденція зберігається. У випадку, коли інтервал між адаптивним та стресовим впливами був 4 год, поглинальна активність рослин кукурудзи відновилась до рівня

stress influence need more long-term observation, compared with the radiocapacity factor. This once again proves the convenience and less labor input of the proposed in this paper method of radiocapacity factor.

An analysis of the concentration dependences of growth and absorbing characteristics led to the conclusion that as the adapting concentration of cadmium chloride appropriate to use 1 μM/L. As a test dose have chosen the concentration of CdCl₂ – 25 μM/L. Intervals between adapting and testing influences have chosen equal to 4 and 24 hours.

The radiocapacity factor F_b norm dynamics for variant using the stress concentration of cadmium chloride 25 μM/L with an interval of 24 hours after adding the modifier concentration 1 μM/L, shows the presence of the adaptation process (Fig. 2). This conclusion can be drawn from the comparison of the curve (5) for this variant with the curves of the independent application of adaptive (2) and stress (3) concentrations. It can be seen that during the first 4 days radiocapacity factor values for the variant using adaptive scheme increases by 10–15 % of the values for variants using separately 1 μM/L and 25 μM/L of salt CdCl₂. On the eighth day of observation radiocapacity factor values of all research variants are close to the control, but the trend continues. In the case with the interval 4 hours between the adaptive and stress concentration maize plants absorbing activity recovered to

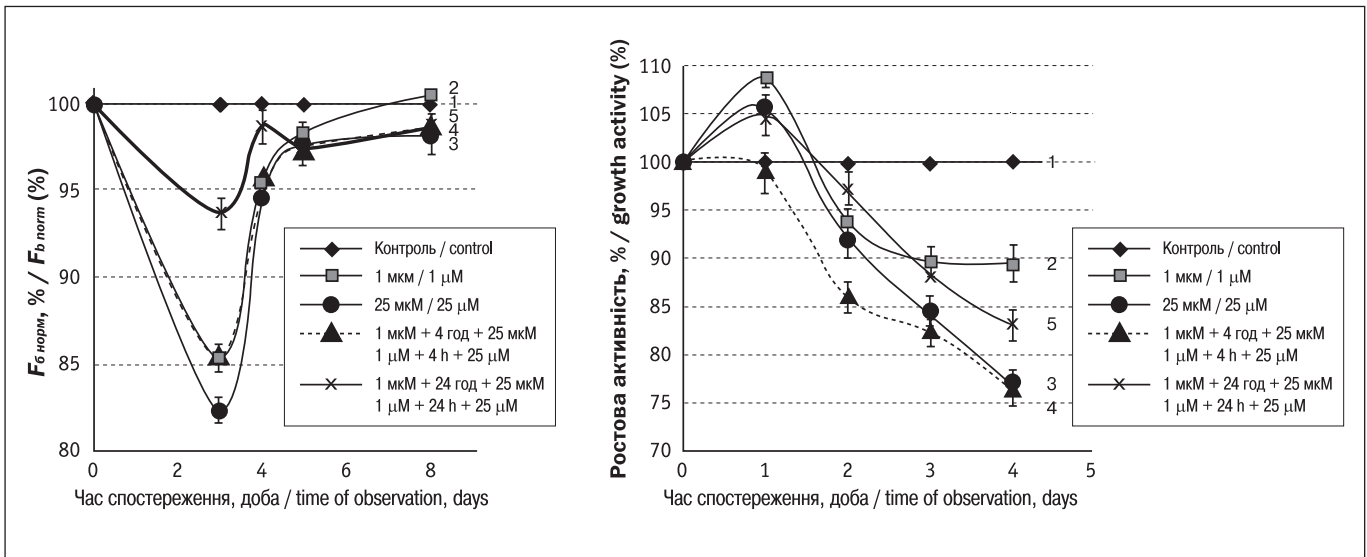


Рисунок 2. Динаміка фактору радіємності (зліва) рослин кукурудзи та швидкості росту їх головних коренів (справа) в умовах дії: 1 – без стресових впливів (контроль); 2 – адаптуючої концентрації (1 $\mu\text{M}/\text{л}$); 3 – тестуючої концентрації (25 $\mu\text{M}/\text{л}$); 4 – тестуючої концентрації (25 $\mu\text{M}/\text{л}$) через 4 год після адаптуючої концентрації 1 $\mu\text{M}/\text{л}$ CdCl_2 ; 5 – тестуючої концентрації (25 $\mu\text{M}/\text{л}$) через 24 год після адаптуючої концентрації 1 $\mu\text{M}/\text{л}$ CdCl_2 .

Figure 2. The radiocapacity factor F_b norm of maize plants (left) and growth activity of plants main roots (right) dependences under the influences: 1 – without stressors; 2 – adaptive concentration (1 $\mu\text{M}/\text{L}$); 3 – test-concentration (25 $\mu\text{M}/\text{L}$); 4 – test-concentration (25 $\mu\text{M}/\text{L}$) after 4 hours after adaptive concentration of CdCl_2 1 $\mu\text{M}/\text{L}$; 5 – test-concentration (25 $\mu\text{M}/\text{L}$) after 24 hours after adaptive concentration of CdCl_2 1 $\mu\text{M}/\text{L}$.

варіанту із застосуванням тільки адаптивної концентрації 1 $\mu\text{M}/\text{л}$.

При вивченні динаміки ростової активності для варіанту із застосуванням адаптаційної схеми з інтервалом між адаптивною і стресовою концентраціями 4 год також не спостерігали явище адаптації, навпаки – відбувалось погіршення ростової активності рослин в порівнянні навіть з незалежним застосуванням 25 $\mu\text{M}/\text{л}$ хлориду кадмію.

Тобто, тут має місце сенсibiliзуючий вплив 1 $\mu\text{M}/\text{л}$ хлориду кадмію на момент застосування стресової концентрації CdCl_2 . У випадку внесення 25 $\mu\text{M}/\text{л}$ CdCl_2 через 24 год після адаптуючого впливу (1 $\mu\text{M}/\text{л}$ CdCl_2), спостерігали адаптацію, починаючи з 2-ї доби, про що свідчать значення ростової активності (швидкості росту головного кореня), що вищі від значень для незалежного застосування 25 $\mu\text{M}/\text{л}$ CdCl_2 .

Для перевірки експерименту провели такий самий експеримент за адаптивною схемою, але адаптивна концентрація була 2 $\mu\text{M}/\text{л}$ хлориду кадмію. Динаміка фактору радіємності для цього дослідження представлена на рис. 3.

Тут можна бачити чітку картину адаптивної відповіді поглинальних характеристик рослин кукурудзи на дію тест-концентрації 25 $\mu\text{M}/\text{л}$, застосованої че-

values of the variant exposed only the adaptive concentration of 1 $\mu\text{M}/\text{L}$.

In the dynamics of growth activity (Fig. 2, right) for the variant exposed adaptive scheme with intervals between adaptive and test concentrations 4 h., the phenomenon of adaptation also was not observed. There has been deterioration in growth parameters compared with the influence of stress concentration 25 $\mu\text{M}/\text{L}$ cadmium chloride.

That is, there is a sensitizing effect of 1 $\mu\text{M}/\text{L}$ cadmium chloride at the moment of applying the stress concentration 25 $\mu\text{M}/\text{L}$. In case of application of the 25 $\mu\text{M}/\text{L}$ concentration of CdCl_2 at 24 hours after adaptive 1 $\mu\text{M}/\text{L}$, we can talk about the phenomenon of adaptation starting at the second day. This is evidenced values of the growth activity (the growth rate of the main root), which is higher than the values for the independent applying 25 $\mu\text{M}/\text{L}$ of salt CdCl_2 .

A similar research by adaptive scheme for validation of experiments and obtained results was carried out, but adaptive concentration was 2 $\mu\text{M}/\text{L}$ of cadmium chloride. The dynamics of the radiocapacity factor for this experiment presented on Fig. 3.

Here it is possible to see a clear picture of the adaptive response absorbing characteristics of maize plants to the action of test concentration of 25 $\mu\text{M}/\text{L}$,

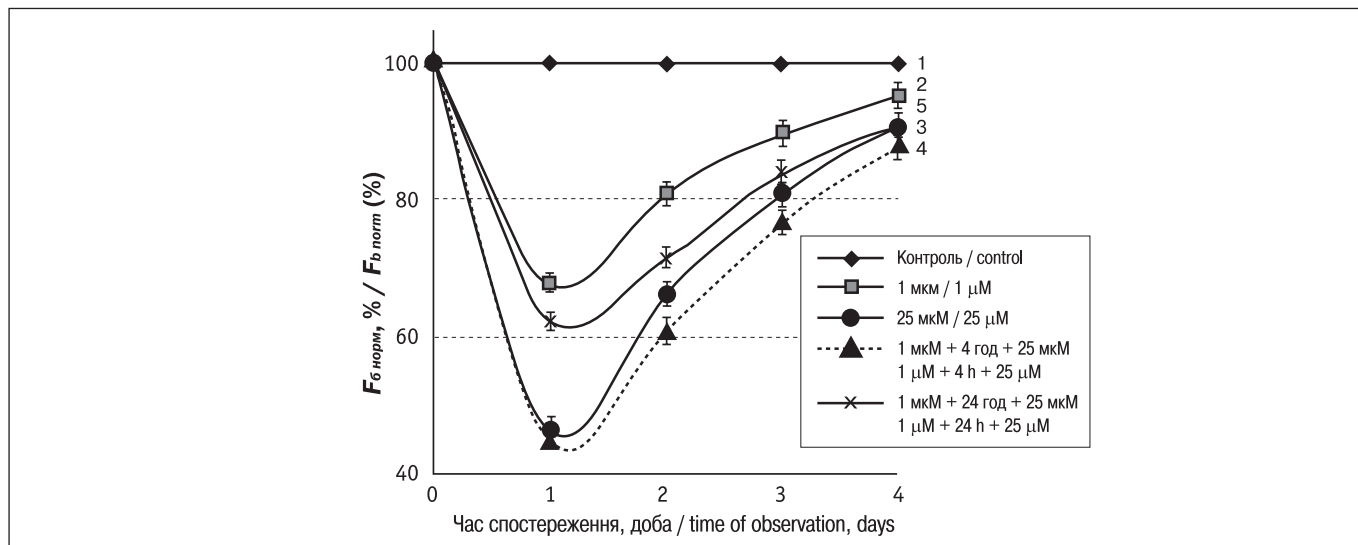


Рисунок 3. Динаміка фактору радіємності рослин кукурудзи в умовах дії: 1 – без шкідливих впливів; 2 – адаптуючої концентрації (2 мкМ/л); 3 – тестуючої концентрації (25 мкМ/л); 4 – тестуючої концентрації (25 мкМ/л) через 4 год після адаптуючої концентрації 2 мкМ/л CdCl₂; 5 – тестуючої концентрації (25 мкМ/л) через 24 год після адаптуючої концентрації 2 мкМ/л CdCl₂.

Figure 3. The radiocapacity factor F_b norm of maize plants dependence under the influences: 1 – without stressors; 2 – adaptive concentration (2 $\mu\text{M/L}$); 3 – test-concentration (25 $\mu\text{M/L}$); 4 – test-concentration (25 $\mu\text{M/L}$) after 4 hours after adaptive concentration of CdCl₂ 2 $\mu\text{M/L}$; 5 – test-concentration (25 $\mu\text{M/L}$) after 24 hours after adaptive concentration of CdCl₂ 2 $\mu\text{M/L}$.

рез 24 год після внесення в середовище живлення рослин адаптивної концентрації 2 мкМ/л хлориду кадмію. Про це свідчить положення кривої 5, яка описує динаміку F_b norm при вищеописаній схемі застосування адаптивної та тест-концентрацій. Протягом майже всього часу спостереження значення фактору радіємності більші на 5–15 %, ніж для випадку застосування лише тест-концентрації 25 мкМ/л (крива 3). У випадку, коли часовий інтервал між адаптивною та тест-концентрацією був рівний 4 год, знову ж таки спостерігалось явище сенсibiliзації, про що свідчить погіршення поглинальної здатності рослин (крива 4).

Таким чином, по-перше, адаптаційний ефект залежить від дози адаптуючого впливу і від моменту застосування тест-впливу, що очевидно пов'язано зі ступенем стимулюючої дії попереднього стресового впливу; по-друге, адаптаційний ефект має транзитивний, тобто, тимчасовий характер і обмежений час прояву.

ВИСНОВКИ

Отже, підводячи підсумки, слід зазначити, що при застосуванні токсичного чинника за адаптаційною схемою впливу на рослини кукурудзи в умовах водної культури, можлива наявність явища адаптації до стресового впливу, в залежності від величини часового інтервалу між адаптуючою та тестуючою доза-

applied 24 h. after adaptive concentration of 2 $\mu\text{M/L}$ of CdCl₂ introduction into the cultural medium of maize plants. This is evidenced by the position of the curve 5, which describes the dynamics F_b norm by the above-described scheme of adaptive and test concentrations application. Throughout most of the observation time the radiocapacity factor values on 5–15 % larger than for the case of only a test concentration 25 $\mu\text{M/L}$ applying (curve 3). In the case when the time interval between adaptive and test concentration was equal to 4 hours, the sensibilization phenomenon again observed, as evidenced by deterioration of plants absorption activity (curve 4).

Thus, firstly, radioadaptive effect depends on the dose of exposure and time of applying of test exposure, obviously associated with degree of stimulating of the previous stress exposure; and secondly, radioadaptive effect has temporary character and limited time of display.

CONCLUSIONS

Under the application of a toxic factor by the adaptation scheme of impact on maize plants in conditions of water culture there may be present the phenomenon of adaptation to the stress influence, depending on the time interval between the adaptive and test doses (concentrations). In particular, the adaptation

ми (концентраціями). Зокрема, явище адаптації було виявлено при застосуванні “стрес-концентрації” 25 мкМ/л через 24 год після адаптуючої концентрації CdCl₂ 1 мкМ/л та 2 мкМ/л. Показано, що застосування методу фактору радіємності до вивчення адаптації рослин до дії шкідливих факторів, а саме – внесення розчину токсичного металу кадмію в поживне середовище рослин, є зручним і доцільним. Отримано підтвердження виявленого явища адаптації до внесення розчину солі CdCl₂ в середовище живлення рослин і традиційним методом, а саме – з допомогою спостереження за ростовими характеристиками рослин. Слід підкреслити, що вперше досліджували адаптацію рослин до дії токсичного металу за традиційною схемою адаптації до радіаційного впливу.

Подяка

Робота виконана в рамках НДР № 0113U000227 “Роль відновлювального та адаптаційного потенціалу біоти екосистем в формуванні їх надійності та стійкості в умовах комбінованої дії іонізуючої дії опромінення та хімічних стресорів”. В плануванні та проведенні експериментів брали участь співробітники відділу біофізики та радіобіології д.б.н. Кутлахмедов Ю.О., д.б.н. Міхеєв О.М., інж. І кат. Салівон А.Г., пров. інж. Тонкаль Л.В.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барабой В. А. Стресс: природа, биологическая роль, механизмы, исходы / В. А. Барабой. – К. : Фитосоцицентр, 2006. – 424 с.
2. Новые аспекты закономерностей действия низкоинтенсивного облучения в малых дозах / Е. Б. Бурлакова, А. Н. Голощапов, Г. П. Жижина, А. А. Конрадов // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1999. – Т. 39, № 1. – С. 26–34.
3. Малые дозы рентгеновского излучения активируют NO-синтазную компоненту цикла оксида азота / В. Н. Коробов, Л. В. Сорокина, О. В. Коробова [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – Т. 43, № 2. – С. 182–185.
4. Косаківська І. В. Фізіолого-біохімічні основи адаптації рослин до стресів / І. В. Косаківська / – К. : Сталь, 2003. – 192 с.
5. Сокурова Е. Н. Возникновение радиоустойчивости микроорганизмов / Е. Н. Сокурова // Успехи современной биологии. – 1962. – Т. 53. вып. 1. – С. 69–84.
6. Антропогенная радионуклидная аномалия и растения / Д. М. Гродзинский, К. Д. Коломиец, Ю. А. Кутлахмедов [и др.] – К. : Лыбидь, 1991. – 160 с.
7. Кутлахмедов Ю. А. Медико-биологические последствия Чернобыльской аварии. Ч. 1. Долгосрочные радиозоологические проблемы Чернобыльской аварии и контрмеры. / Ю. А. Кутлахмедов. – К. : Медэкол, 1998. – 172 с.

phenomenon was revealed under the test-concentration 25 μM/L at 24 hours after the adaptive concentration of CdCl₂ 1 μM/L and 2 μM/L. It is shown that application of the method of radiocapacity factor to the study of plant adaptation to impact of harmful factors – namely the solution of the toxic metal cadmium introduced into the nutrient medium of plants, is convenient and appropriate. Confirmation of the detected phenomenon of adaptation to the introduction of CdCl₂ solution into the nutrient medium of plants using traditional methods – namely, through observation by the growth characteristics of plants was obtained. It should be stressed that for the first time the adaptation of plants to the action of the toxic metal was investigated by the traditional scheme of adaptation to radiation exposure.

Acknowledgements

Work carried out in the framework of research № 0113U000227 “The role of regenerative and adaptive capacity of ecosystems biota in forming of its reliability and sustainability under combined action of ionizing radiation and chemical stressors”. In planning and conducting of experiments were participated employees of a department of Biophysics and Radiobiology, Dr. Kutlakhmedov Yu., Dr. Micheev A., Eng. I cat. Salivon A., Lead Ing. Tonkal L.

REFERENCES

1. Baraboj VA. [Stress: nature, biological role, mechanisms, outcomes]. Kyiv: Phytosociocentre; 2006. 424 p. Russian.
2. Burlakova EB, Goloschapov AN, Zhizhina GP, Konradov AA. [A new aspects of the regularities of action of low-intensity radiation in low doses]. Radiats Biol Radioecol. 1999;39(1):26-34. Russian.
3. Korobov VN, Sorokina LV, Korobova OV, et al. [Low doses of X-rays activate NO-synthase component of nitrogen oxide cycle]. Radiats Biol Radioecol. 2003;43(2):182-5. Russian.
4. Kosakivska IV. [Physiological and biochemical basis of plant adaptation to stress]. Kyiv: Stal'; 2003. 192 p. Ukrainian.
5. Sokurova EN. [The occurrence of radioresistance of microorganisms]. Biol Bullet Reviews. 1962;53(1):69-84. Russian.
6. Grodzinsky DM, Kolomiets OD, Kutlakhmedov YuA, et al. [Antropogenic radionuclide anomaly and plants]. Kyiv: Lybid'; 1991. 160 p. Russian.
7. Kutlakhmedov YuA. [Medical-biological consequences of the Chernobyl accident. Part 1. Long-term radioecological problems of the Chernobyl accident and countermeasures]. Kyiv: MEDECOL; 1998. 172 p. Russian.
8. Kutlakhmedov YuA, Pliarpov GG, Korogodin VI, Kutlakhmedova-Vyshnjakova VYu. [Methodology and methods of study of radionuclides and other technogenic pollutants in terres-

8. Методология и методы исследования радионуклидов и других техногенных загрязнителей в наземных и водных экосистемах (Пособие) / Ю. А. Кутлахмедов, Г. Г. Поликарпов, В. И. Корогодин, В. Ю. Кутлахмедова-Вишнякова. – К. : Вища школа, 1997. – 36с.
9. Михеев А. Н. Гетерогенность распределения ^{137}Cs и ^{90}Sr и обусловленные ими дозовые нагрузки на критические ткани главного корня проростков / А.Н. Михеев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1999. – Т. 39, вып. 6. – С. 663–666.
10. Модификация способности растений накапливать радионуклиды / О. П. Костюк, А. Н. Михеев, Д. М. Гродзинский, Ю. А. Кутлахмедов // Докл. АН Украины. – 1993. – Вып. 8. – С. 162–165.
11. Kostuk O. Accumulation of radiocesium by root top could be index of meristem functional activity / O. Kostuk, A. Mikheyev, N. Zezina, Y. Kutlahmedov // Proceeding of 10th International Congress of Radiation Research, 27 Aug – 1 Sept 1995, Wurzburg, Germany / eds. U. Hagen, D. Harder, H. Jung, and C. Streffer. – Wurzburg : Universitatsdruckerei H., 1995. – P. 316–317.
12. Пчеловська С.А. Вивчення комбінованої дії радіаційного та токсичного факторів за показниками радіоємності / С. А. Пчеловська : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук: спец. 03.00.01 "Радіобіологія". – Київ, 2006. – 20 с.
13. Костюк О. П. Модификация способности накапливать радионуклиды с помощью их стабильных изотопов / О. П. Костюк, А. Н. Михеев, Ю.А. Кутлахмедов // Окружающая среда и здоровье. – К. : Укр. научн. гигиен. центр. – Деп. в ГНТБ Украины. – 1993. – 10 с.
14. Пчеловская С. А. Исследование комбинированного влияния гамма-облучения и фракционированного внесения соли токсического металла CdCl_2 на состояние модельной растительной экосистемы / С. А. Пчеловская, Ю. А. Кутлахмедов // Збірник наук. праць Інституту ядерних досліджень. – 2004. – № 1 (12). – С. 88–95.
15. Боровков А. А. Математическая статистика / А. А. Боровков. – М. : Наука, 1984. – 472 с.
- trial and aquatic ecosystems. (Manual)]. Kyiv: Vyscha shkola; 1997. 60 p. Russian.
9. Micheev AN. [Heterogeneity of distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr and resulting radiation doses to critical tissues of the main root seedlings]. Radiats Biol Radioecol. 1999;39(6):663-6. Russian.
10. Kostuk O, Micheev A, Grodzinsky D, Kutlahmedov Yu. [Modification of the plants ability to absorb radionuclides]. Reports of Ukrainian Academy of Sciences. 1993;8:162-5. Russian.
11. Kostuk O, Micheev A, Zezina N, Kutlahmedov Y. Accumulation of radiocesium by root top could be index of meristem functional activity. In: Hagen U, Harder D, Jung H, Streffer C, editors. Proceeding of 10th International Congress of Radiation Research; 1995 Aug 27 – Sept 1 1995; Wurzburg, Germany. Wurzburg: Universitatsdruckerei H.; 1995. p. 316-7.
12. Pchelovska SA. [The investigation of the combined action of radiation and toxic factors by the radiocapacity parameters] [dissertation abstracts]. Kyiv: KNU of Shevchenko; 2006. 20 p. Ukrainian
13. Kostuk O, Micheev A, Kutlahmedov Yu. [Modification of the ability to accumulate radionuclides using their stable isotopes]. In: Environment and Health. Kyiv: Ukrain. Sci. hygien. center. Dep. SSTB in Ukraine; 1993. 10 p. Russian.
14. Pchelovska SA, Kutlahmedov YuA. [The investigation of the combined influence of γ -irradiation and the salt of toxic metal CdCl_2 fractured insertion to the state of modeling plant ecosystem]. Sci Papers of the Inst for Nuclear Research. 2004; 1(12):88-95. Russian.
15. Borovkov AA. [Mathematical statistics]. Moskva: Nauka; 1984. 472 p. Russian.

Стаття надійшла до редакції 08.08.2014

Received: 08.08.2014