© Пчеловская С. А.

УДК 57. 017. 32 : 57. 044

Пчеловская С. А.

ОЦЕНКА АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ К ДЕЙСТВИЮ ХЛОРИДА КАДМИЯ ПО ФАКТОРУ РАДИОЕМКОСТИ

Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины (г. Киев)

Работа выполнена в рамках НИР «Роль восстановительного и адаптационного потенциала биоты экосистем в формировании их надежности и устойчивости в условиях комбинированного действия ионизирующего облучения и химических стрессоров», № гос. регистрации 0113U000227.

Вступление. Химическое и радионуклидное загрязнение больших территорий в Украине остается проблемой, которая требует постоянного внимания. Поэтому, одним из наиболее актуальных направлений современной радиобиологии является исследование устойчивости биологических объектов к действию экстремальных факторов окружающей среды. Особую важность в этой области занимает необходимость исследования способов оценки адаптации биологических объектов к таким воздействиям. Ранее была разработана теория радиоемкости, благодаря которой по поведению фактора радиоемкости модельной системы проводилась оценка изменения состояния в условиях независимых и комбинированных действий радиационного и химического факторов [7]. Адаптивная реакция представляет сложный динамический процесс, поэтому для его изучения необходимо применение таких методов, которые могли бы максимально оперативно и максимально щадящим для растений способом учитывать его многофазность. Одним из таких методов является предлагаемый нами метод оценки фактора радиоемкости. Суть последнего состоит в наблюдении за поглощением специально внесенного в питательную среду трассера – радионуклида ^{137}Cs (химического аналога макроэлемента калия), уровень поглощения которого растениями способен отражать его физиологическое состояние. Как было нами показано ранее, применяемые удельные активности ^{137}Cs (около 3,0 кБк/л) не оказывали влияния на ростовые процессы растений, т. е. не могли составить конкуренцию находящемуся в культуральной среде калию [3]. Указанный метод является существенно менее трудоемким по сравнению с традиционными методами оценки интегрального состояния растений путем, например, измерения его ростовой активности [5, 6, 9]. Таким образом, использование радиометрического метода определения активности используемого радионуклида в питательном растворе, позволяет получить подробную картину изменения состояния растений в условиях действия на них ингибирующих уровней стрессоров [1, 2].

Целью данной **работы** явилось изучение адаптации растений модельной системы в условиях воздействия химического фактора, а именно – внесения в среду обитания раствора кадмия хлорида. Для исследования адаптации использовали стандартную схему, согласно которой варианты сначала подвергали адаптирующему воздействию (АД), а спустя некоторое время (Δt) применяли тест-дозу (ТД). В качестве характеристики состояния биоты в условиях стрессовых воздействий, использовали показатели радиоемкости и ростовые характеристики растений.

Объект и методы исследования. Исследования проводили с использованием метода оценки фактора радиоемкости, научным основанием которого явились установленные нами факты прямой связи состояния растения с поглотительной способностью его корневой системы, выявляемой по поглощению ^{137}Cs из водного раствора его хлорида [1, 4, 8, 9].

Фактор радиоемкости ($F_б$) для каждого из опытных вариантов рассчитывали по формуле:

$$F_б = 1 - A_i / A_0;$$

где A_i – активность питательного раствора в i-й момент наблюдения (ее мы непосредственно измеряли в ходе проведения эксперимента), A_0 – активность раствора в начальный момент (специально внесенная активность).

Нормировку рассчитанных значений $F_б$ проводили, поделив это значение в соответствующий i-й момент наблюдения ($F_{бi}$) на значение $F_б$ для контроля ($F_{б\ контр}$) и умножив на 100 %:

$$F_{б\ норм.} = (F_{бi} / F_{б\ контр.}) \times 100\ \%.$$

Полученные таким образом оценки поглотительной активности далее использовали для построения дозовых и временных зависимостей фактора радиоемкости растений.

В основе планирования экспериментов лежит классическая адаптационная схема, где в качестве модифицирующего воздействия применяется концентрация кадмия хлорида, оказывающая определенную стимуляцию на ростовые показатели и на показатели активности поглощения веществ из раствора – фактора радиоемкости. Объект

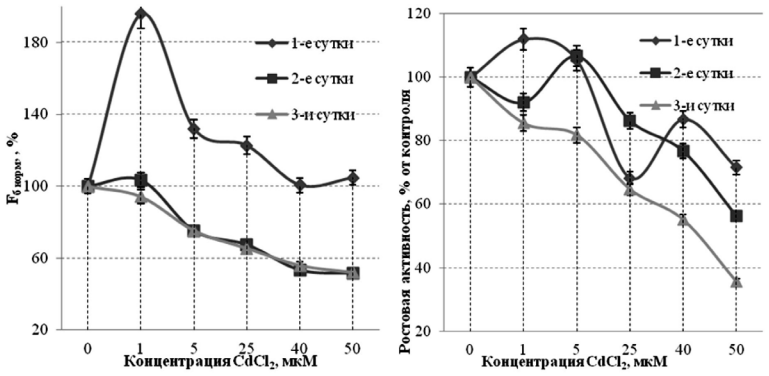

Рис 1. Концентрационная зависимость влияния кадмия хлорида на поглотительную (слева) и ростовую (справа) активность проростков кукурузы.

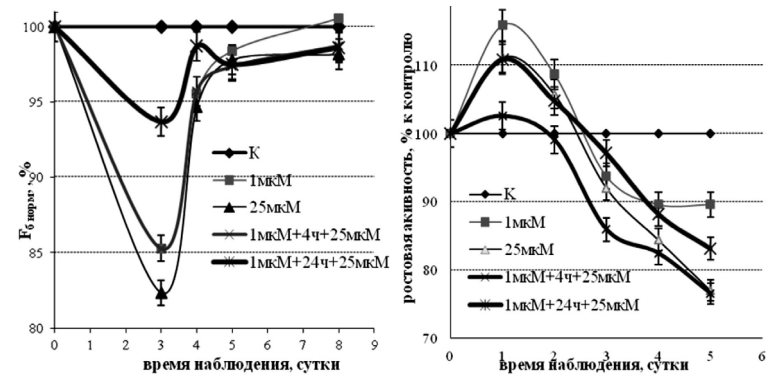

Рис. 2. Динамика фактора радиоемкости (слева) и ростовой активности растений кукурузы (справа) в условиях действия адаптирующей (1мкМ) и тестирующей (25мкМ) концентраций $CdCl_2$.

исследования – ростовые реакции и реакции показателя поглотительной активности – фактора радиоемкости растений кукурузы, в условиях водной культуры. В экспериментах использовали проростки кукурузы сорта Приднестровская. Трехсуточные проростки в количестве 20–25 шт. высаживали на стеклянные сосуды емкостью 0,5 л с отстоянной водопроводной водой, которая служила им в качестве питательной среды на протяжении всего времени наблюдения (8-10 сут.). Для исследования эффекта адаптации к действию кадмия хлорида, в воду добавляли соответствующие ("адаптирующие") концентрации растворов кадмия хлорида, которые определены из предварительно полученных концентрационных зависимостей. В нашем эксперименте такая концентрация была 1 мкМ кадмия хлорида. Через 4 и 24 ч. в питательную среду соответствующих вариантов добавляли стрессовую концентрацию – 25 мкМ. С интервалом в 1 сут. проводили измерение остаточной активности в воде с помощью γ-спектрометра СЕГ-05 (Украина). Начальная радиоактивность по ^{137}Cs в сосудах составляла 1,5 кБк (в 0,5 л). Измерение радиоактивности проводили до момента, когда ошибка измерения составляла 3%.

Ростовую активность определяли путем отношения длины главного корня (измеряли каждый день) для опытных вариантов к длине корня контрольного варианта. Опыт был поставлен таким образом, чтобы можно было одновременно наблюдать за поглотительной способностью водной культуры растений и определять ростовые реакции растений на действие разных концентраций тяжелых металлов.

Результаты исследований и обсуждение. Прежде всего, были построены концентрационные зависимости для показателей ростовой и поглотительной активности растений кукурузы **(рис. 1).** Можно видеть, что стимулирующее влияние и на ростовые и на поглотительные показатели проростков кукурузы наблюдается при концентрации соли в культуральной среде $CdCl_2$ 1 мкМ. Для обоих показателей такая стимуляция наблюдается в первые сутки.

Выходя из этого, концентрация кадмия хлорида 1 мкМ была выбрана в качестве адаптирующей. Как тест-дозу выбрали концентрацию соли $CdCl_2$ 25 мкМ. Интервалы между адаптирующим и тестирующим влиянием выбрали равными 4 и 24 ч.

Динамика фактора радиоемкости для варианта с применением тестирующей концентрации кадмия хлорида 25 мкМ с интервалом 24 ч. после внесения модифицирующей концентрации 1 мкМ показывает присутствие адаптивного эффекта **(рис. 2).**

Такой вывод можно сделать из сравнения кривой для этого варианта с кривыми вариантов независимого применения адаптивной и тест-концентраций. Видно, что на протяжении первых 4-х суток значения фактора радиоемкости для варианта с применением адаптационной схемы превышают на 10-15% значения для вариантов с применением отдельно 1мкМ и 25мкМ $CdCl_2$. В случае, когда интервал между адаптивным и стрессовым воздействиями был 4 ч., поглотительная активность растений кукурузы восстановилась до уровня варианта с применением только адаптивной концентрации 1мкМ. При изучении динамики ростовой активности для варианта с применением адаптационной схемы с интервалом 4 ч. между адаптивной и стрессовой концентрациями, также не наблюдали явление адаптации, наоборот – ростовая активность растений значительно (до 10%) снижалась в сравнении даже с отдельным применением 25 мкМ кадмия хлорида. Иными словами, имеет место сенсибилизирующее влияние 1 мкМ кадмия хлорида на момент внесения стрессовой концентрации $CdCl_2$. В случае внесения 25 мкМ $CdCl_2$ через 24 ч. после адаптирующего влияния (1 мкМ $CdCl_2$), наблюдали

адаптацию, начиная со вторых суток, о чем свидетельствуют значения ростовой активности (скорости роста главного корня), выше значений для независимого внесения 25 мкМ $CdCl_2$.

Выводы. В условиях применения токсического фактора по адаптационной схеме влияния на растения кукурузы в условиях водной культуры, была выявлена зависимость проявления адаптации от величины временного интервала между адаптирующей и тестирующей концентрациями. В частности, адаптация наблюдалась при внесении «тест-концентрации» 25 мкМ через 24 ч. после адаптирующей концентрации $CdCl_2$ 1 мкМ. Показано, что фактор радиоемкости служит адекватным, чувствительным показателем, проявляющим реакцию растений на стрессовое влияние.

Перспективы дальнейших исследований. В дальнейшем планируется провести исследования адаптации растений к воздействию соли токсического металла при фракционированном применении тест-концентрации, а также продолжить исследование адаптации к комбинированному воздействию радиационного и токсического факторов с использованием метода оценки фактора радиоемкости.

Литература

1. Костюк О. П. 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.
2. 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. Укр. научн. гигиен. центр. – К., 1993. – 10 с. – Деп. в ГНТБ Украины.
3. 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.
4. Міхєєв О. М. Індукція перехідних процесів як механізм модифікації нагромаджувальної здатності рослин / О. М. Міхєєв, О. П. Костюк, Ю. О. Кутлахмедов, Д. М. Гродзінський // Доп. АН України. – 1995. – № 5. – С. 143-145.
5. Пчеловська С. А. Вивчення комбінованої дії радіаційного та токсичного факторів за показниками радіоємності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 03. 00. 01 «Радіобіологія» / С. А. Пчеловська. – Київ, 2006. – 20 с.
6. 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.
7. Радиобиологические эффекты хронического облучения растений в зоне влияния Чернобыльской катастрофы / [Д. М. Гродзинский, Н. И. Гуща, А. П. Дмитриев и др.]; под ред. Д. М. Гродзинского. – К.: Наукова думка, 2008. – 374 с.
8. Kostuk O. Accumulation of radioceasium by root top could be index of meristem functional activity / O. Kostuk, A. Micheev, N. Zezina, Y. Kutlahmedov // Abstr. of 10th congress of Radiation Research. Wurtzburg, 1995.
9. Pchelovska S. Using the radiocapacity parameter for the estimation of radiation and toxic influences on plant system / S. Pchelovska // Modern problems of genetics, radiobiology, radioecology and evolution. Dubna: Atomizdat. – 2005. – P. 307-309.

УДК 57. 017. 32 : 57. 044

ОЦІНКА АДАПТАЦІЇ РОСЛИН КУКУРУДЗИ ДО ДІЇ ХЛОРИДУ КАДМІЮ ПО ФАКТОРУ РАДІОЄМНОСТІ

Пчеловська С. А.

Резюме. Вивчали адаптацію рослин кукурудзи в умовах водної культури до дії хімічного фактору, а саме – внесення в поживне середовище розчину хлориду кадмію. Для вивчення адаптації застосовували стандартну схему, згідно якої варіанти спочатку піддавали дії адаптуючої дози (АД), а через певний час (Δt) застосовували тест-дозу (ТД). В якості характеристик стану рослин використовували фактор радіоємності та ростові показники рослин. 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 внесенні «тест-концентрації» 25 мкМ через 24 год. після адаптуючої концентрації $CdCl_2$ 1 мкМ. При внесенні тестуючої концентрації через 4 год. після адаптуючої, спостерігали сенсибілізуючу дію солі $CdCl_2$ на ростові и 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: адаптація, фактор радіоємності, хлорид кадмію, кукурудза.

УДК 57. 017. 32 : 57. 044

ОЦЕНКА АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ К ДЕЙСТВИЮ ХЛОРИДА КАДМИЯ ПО ФАКТОРУ РАДИОЕМКОСТИ

Пчеловская С. А.

Резюме. Изучали адаптацию растений кукурузы в условиях водной культуры к воздействию химического фактора, а именно – внесения в среду обитания раствора кадмия хлорида. Для исследования адаптации использовали стандартную схему, согласно которой варианты сначала подвергали адаптирующему

воздействию (АД), а спустя некоторое время (Δt) применяли тест-дозу (ТД). В качестве характеристик состояния растений использовали фактор радиоемкости и ростовые характеристики растений. Получены концентрационные зависимости фактора радиоемкости растений, а также зависимости при адаптационном и стрессовом воздействиях. Выявлена зависимость адаптации от величины временного интервала между адаптирующей и тестирующей концентрациями кадмия хлорида. В частности, адаптация наблюдалась при внесении «тест-концентрации» 25 мкМ через 24 ч. после адаптирующей концентрации $CdCl_2$ 1 мкМ. При внесении тестирующей концентрации через 4 ч. после адаптирующей, наблюдали сенсибилизирующее действие соли $CdCl_2$ на ростовые и поглотительные характеристики растений. Показано, что фактор радиоемкости служит адекватным, чувствительным показателем, проявляющим реакцию растений на стрессовое влияние в условиях применения адаптационной схемы воздействия.

Ключевые слова: адаптация, фактор радиоемкости, кадмия хлорид, кукуруза.

UDC 57. 017. 32 : 57. 044

The Assessment of Maize Plants Adaptation to Cadmium Chloride Influence by Through the Radiocapacity Factor

Pchelovska S. A.

Abstract. 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. Previously, we proposed a new approach to assessing the state of biotic component of ecosystem under the action of harmful factors – by the behavior of radiocapacity factor. Radiocapacity factor – 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. In experiments on water culture of maize plants it was shown that the radiocapacity factor – is the convenient and adequate indicator of the state of biotic components of the ecosystem model (maize plants). 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. 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. According to the experimental data received, the radiocapacity parameter proved to be very sensitive to the different stress agents on biota and could anticipate in advance the trends of growth reactions for biological objects.

The aim of this work was to apply this approach to study the phenomenon of plant adaptation to the action of the toxic factor – namely, introducing into the habitat of cadmium chloride solution. Investigations were carried out using the method of assessment radiocapacity factor, the essence of which is to determine the sorption activity of maize plants facilities share (percentage) of radioactivity which remains in culture medium after a defined period incubation of the object on it.

The radiocapacity factor (F_b) for each of the experimental variants was calculated as follows: $F_b = 1 - A_i/A_0$; 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). 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 ($F_{b\ contr.)}$ and multiplying by 100 %: $F_{b\ norm.} = (F_{bi} / F_{b\ contr.)}$ Ч100 %.

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

A standard scheme for the study of adaptation whereby maize plants were subjected to the first impact of adapting dose/concentration (AD), and after some time (Δt) applied a test dose/concentration (TD), was used. The concentration of cadmium chloride ($CdCl_2$), providing 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. So adapting dose/concentration 1 μM and test dose/concentration 25 μM were chosen and time between were 4 h and 24 h. The experiment was carried out thus to be able to simultaneously observe the absorption activity water culture of plants and determine the growth response of plants to the action of different concentrations of cadmium chloride.

The dependence of adaptation on the time interval between the test and adapting concentrations of cadmium chloride was revealed. Particularly, adaptation was observed at entering "test concentration" 25 μM after 24 hours after the adapting concentration 1 μM $CdCl_2$. The effect of sensitization on the growth and absorbing characteristics of plants of salt CdCl2 when entering the test concentration within 4 hours after adapting it is observed. It is shown that the radiocapacity factor is adequate, a sensitive indicator manifesting the response of plants to stress influence in the conditions of adaptive schemes impact using.

Keywords: adaptation, radiocapacity factor, cadmium chloride, maize plants.

Рецензент – д. біол. н. Міхєєв О. М.

Стаття надійшла 10. 06. 2014 р.