

**ЕФЕКТИ ДИСТАНЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ОПРОМІНЕНИХ ТА НЕОПРОМІНЕНИХ РОСЛИН**

О. П. Кравець, Г. Д. Слинявчук, Д. М. Гродзинський, Т. А. Василенко

*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ*

На двох експериментальних моделях досліджено дистанційні взаємодії між опроміненими та неопроміненими рослинами кукурудзи в умовах водної культури. Встановлено стимуляцію ростових реакцій у неопромінених рослин, що супроводжується підвищенням виходу хромосомних аберацій у меристемі коренів, та пригнічення, порівняно з опроміненою однорідною культурою, аналогічних показників в опромінених рослин.

Дослідження дистанційних взаємодій між опроміненими та неопроміненими біологічними структурами, органами та організмами є одним із методичних підходів в усвідомленні механізмів системної відповіді біологічних систем на опромінення. Широко відомо, що саме дослідження взаємодій між опроміненими та неопроміненими організмами стало фактичною базою формулювання структурно-метаболическої теорії [1]. За останні роки спостерігається підвищення інтересу до цього питання у зв'язку з проблемою малих доз та вивчення їх ефектів – гормезису та явища генетичної нестабільності. З'явилася серія публікацій про “ефект свідка” (bystander effect), який полягає в передачі різних ознак радіаційного ушкодження від опромінених тканин до неопромінених, нестабільності геному від клітин, що опромінювалися, до неопромінених клітин, радіаційної стимуляції від опроміненого насіння до неопроміненого [2, 3] тощо.

Експериментальні моделі, що об'єднують опромінені та неопромінені біологічні об'єкти є зручним інструментом вивчення багатьох радіобіологічних питань, пов'язаних з характеристичним часом формування окремих реакцій розвитку ураження або навпаки – відновлення чи адаптації, природи та стабільності біохімічних сполук, що при цьому утворюються, тощо.

Метою наших досліджень було вивчення можливості прояву дистанційної взаємодії, її знаку та характеристичних часів для рослин, що знаходяться в умовах водної культури.

**Матеріали та методи**

Дослідження проведено з використанням двох експериментальних моделей.

**Перша модель.** Дослідження ефектів дистанційної взаємодії гамма-опромінених у гострій дозі та неопромінених рослин кукурудзи двох генотипів.

Ефект досліджено при різних дозах гострого опромінення та різному співвідношенню опромінених та неопромінених рослин, об'єднаних в одній посудині. Об'єднання рослин проводили на 4 добу з моменту проростання.

Було вивчено варіанти з різними дозами гострого опромінення в інтервалі 10 - 250 Гр та співвідношенням між опроміненими й неопроміненими рослинами в посудині 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1, 5 : 1. Для питання, що досліджується, виявлено оптимальні дози 25 - 75 Гр та співвідношення “опромінені – неопромінені” рослини 3 : 1, 5 : 1. Як показники ефекту взаємодії використовували морфометричні вимірювання та вихід хромосомних аберацій.

**Друга модель.** Дослідження ефектів дистанційної взаємодії в системі “неопромінені декапітовані та гамма-опромінені інтактні рослини”.

Вибір цієї експериментальної моделі базувався на попередньо встановленому явищі підвищення стійкості різних біологічних об'єктів до дії різноманітних факторів при попередній їх декапітації чи іншій формі хірургічного втручання. Таким чином, досліджувалися можливість передачі фактора надбаної радіостійкості недекапітованим рослинам, ступінь рухомості його біохімічних форм та тривалість зберігання ефекту. Було проведено серію

лабораторних експериментів з водною культурою декапітованих та гамма-опромінених рослин, що вирощуються в єдиній посудині. Як і у випадку досліджень, проведених з використанням першої моделі, ефект досліджено при різних дозах гострого опромінення та різному співвідношенні декапітованих та опромінених рослин. Також попередньо було встановлено оптимальні дози опромінення та співвідношення “декапітовані - опромінені рослини”. Піддослідні рослини – кукурудза сорту “Пролісок”. Як показники ефекту взаємодії для цієї моделі використовували лише морфометричні вимірювання, оскільки апікальні меристеми рослин, що є джерелом факторів взаємодії, було видалено.

При дослідженні виходу хромосомних аберацій використовували загально прийняті методи. Апекси коренів проростків видаляли на 7 добу з моменту проростання та на 3 добу об'єднання в одній посудині; фіксували у фіксаторі Бродського. Через 1 добу зразки відмивали 70 %-ним етиловим спиртом. Мацерація проводилася за допомогою лужного гідролізу 20 % NaOH протягом 28 - 30 хв. Потім препарати 15 хв відмивали дистильованою водою. Фарбування проводили в ацетокарміні протягом 1 доби. Давлені препарати готували за загально прийнятою методикою.

На кожну дозу використовували по 10 паралельних проб та аналізували по 40 - 50 тис. клітин. Враховуючи специфіку рослинних тканин, визначення хромосомних аберацій проводили за анофазно-телофазним методом. При обробці результатів використовували стандартні методи статистичного аналізу.

### Результати та обговорення

Достовірні результати взаємодії одержано вже для дози опромінення 25 - 75 Гр та при співвідношенні рослин різних груп 3 : 1 та 5 : 1.

Як свідчать одержані результати (табл. 1), при взаємодії опромінених та неопромінених рослин кукурудзи сорту “Пролісок” має місце стимуляція, порівняно з контролем ростових процесів у підсаджених неопромінених проростків, та пригнічення, порівняно з поведінкою однорідного варіанту, опромінених рослин. Аналогічна поведінка, тобто стимуляція неопромінених та пригнічення опромінених рослин, спостерігається й у рослин лінії ЮВ-7 (табл. 2).

Дослідження виходу цитогенетичних аномалій (див. табл. 1 та 2) у підсаджених рослин кукурудзи, особливо сорту “Пролісок”, свідчить про значиме підвищення, порівняно з контролем, виходу цитогенетичних аномалій у неопроміненому варіанті, та збереження значення цього показника на рівні однорідного опроміненого варіанту в опромінених росли, що ростуть у суміші.

Таким чином, комплекс показників стану підсаджених неопромінених рослин свідчить про те, що їх стан відповідає гормезисному ефекту, що часто спостерігається при опроміненні у малих дозах. Інакше кажучи, цей аспект поведінки суміші опромінених та неопромінених об'єктів цілком відповідає літературним даним, присвяченим вивченню “bystander” ефекту.

Хотілось би звернути увагу на те, що результати всіх попередніх досліджень акцентували увагу саме на “ефекті свідка”, тобто лише на спостереженні квазірадіаційного ураження об'єктів, що контактували з опроміненими. Дані, викладені у цій статті, вказують на те, що спостерігається не просто вплив опромінених рослин на неопромінені, а саме ефект взаємодії, тобто вплив взаємний. Фізичні механізми цього явища можуть бути досить різноманітні. У роботі [2] було встановлено підвищений вихід у культуральне середовище продуктів перекисного окислення арахідонової кислоти, у роботі [3] спостерігали “ефект свідка”, зберігаючи тільки взаємодію через повітря. Залишається повністю відкритим питання про можливі механізми зворотного впливу.

Базуючись на загальних міркуваннях, можна зробити висновок, що агенти взаємодії є досить стабільними хімічними сполуками або мають електромагнітну природу; можливе й сполучення цих двох груп факторів.

Таблиця 1. Ефекти дистанційної взаємодії опроміненних та неопроміненних рослин кукурудзи сорту "Пролісок"

Варіант досліджу	Показники			
	Довжина первинного кореня, см	Довжина зони вторинних коренів, см	Імовірність переходу до вторинного ризогенезу	Вихід хромосомних аберацій, %
Контроль	12,55 ± 0,4	2,25 ± 0,2	0,73 ± 0,03	0,86 ± 0,2
25 Гр	10,72 ± 0,5	0	0	10,6 ± 3,1
75 Гр	9,8 ± 0,65	0	0	14,2 ± 2,3
25 Гр, 5 опромінені + 15 неопромінені	8,4 ± 0,4 13,42 ± 0,3	0 2,55 ± 0,2	0 0,86 ± 0,02	11,4 ± 1,6 2,4 ± 0,4
75 Гр, 5 опромінені + 15 неопромінені	9,7 ± 0,5 13,4 ± 0,4	0 4 ± 0,7	0 0,9 ± 0,01	11,2 ± 1,1 2,6 ± 0,5
25 Гр, 10 опромінені + 10 неопромінені	9,09 ± 0,3 12,4 ± 0,2	0 2,4 ± 0,1	0 0,67 ± 0,01	13,2 ± 1,1 2,1 ± 0,4
75 Гр, 10 опромінені + 10 неопромінені	8,4 ± 0,2 13,1 ± 0,03	0 3,8 ± 0,4	0 1	11,2 ± 1,1 2,4 ± 0,9

Таблиця 2. Ефекти дистанційної взаємодії опроміненних та неопроміненних рослин кукурудзи чистої лінії ЮВ-7

Варіант досліджу	Показники			
	Довжина первинного кореня, см	Довжина зони вторинних коренів, см	Імовірність переходу до вторинного ризогенезу	Вихід хромосомних аберацій, %
Контроль	7,85 ± 0,25	3,1 ± 0,16	0,33 ± 0,07	2,3 ± 0,5
25 Гр	5,72 ± 0,35	0	0	12,7 ± 0,9
75 Гр	4,38 ± 0,5	0	0	20,3 ± 2,5
25 Гр, 5 опромінені + 15 неопромінені	3,7 ± 0,4 9 ± 0,35	0 4,3 ± 0,3	0 0,40 ± 0,02	14,1 ± 1,2 2,8 ± 0,9
75 Гр, 5 опромінені + 15 неопромінені	3,3 ± 0,5 9,4 ± 0,4	0 4 ± 0,7	0 0,60 ± 0,1	18 ± 3,4 3,1 ± 0,7
25 Гр, 10 опромінені + 10 неопромінені	3,2 ± 0,6 9,2 ± 0,4	0 4,4 ± 0,1	0 0,6 ± 0,01	12 ± 2,5 2,1 ± 0,6
75 Гр, 10 опромінені + 10 неопромінені	3,4 ± 0,2 9,1 ± 0,4	0 4,8 ± 0,2	0 0,4 ± 0,1	19,2 ± 3,5 3,2 ± 0,9

Аналізуючи в цілому ці одержані на вегетуючих рослинних об'єктах результати, відзначимо, що вони принципово відрізняються як від даних, що покладені в основу структурно-метаболическої теорії, так і одержаних при вивченні "ефекту свідка" на тваринних об'єктах клітинного рівня та на насінні рослин. Зауважимо, що результати, (див. табл. 1 і 2) складно пояснити з точки зору класичної радіобіології, але вони цілком зрозумілі з точки зору існування внутрішньовидових та міжвидових взаємодій у біологічних угрупованнях.

Відомо, що темпи народжуваності, смерті та біопродуктивності одного індивідуума залежать від щільності популяції. Найбільш загальна закономірність полягає в тому, що підвищення щільності популяції приводить до підвищення ризику загибелі та зменшення біопродуктивності. Для тваринного світу внутрішньовидова конкуренція є більш потужною, ніж міжвидова. Для рослин така закономірність не спостерігається: у зв'язку з можливістю аделопатичних взаємодій міжвидова конкуренція може бути більш потужною, ніж внутрішньовидова.

У зв'язку зі сказаним гормезисні реакції, подібні до ефектів малих доз, що спостерігаються у підсаджених неопромінених рослин, можна пояснити викидом у поживне середовище речовин, які можна розглядати як радіотоксини, а пригнічення, порівняно до гомогенного варіанту, опромінених рослин, як "програш", неспроможність витримувати міжвидову конкурентну боротьбу.

Перейдемо до аналізу результатів, одержаних на експериментальній моделі "неопромінені декапітовані - опромінені інтактні рослини". Як свідчать дані, наведені у табл. 3, особливості використаної експериментальної системи дають змогу спостерігати не ефекти взаємодії, а вплив декапітованих рослин на недекапітовані. Результати такого впливу неоднозначні: у "суміші" спостерігається стимуляція росту первинного кореня в опромінених варіантів порівняно з тими, що ростуть в однорідній культурі та опромінені в такій же дозі, та деяке пригнічення порівняно з контролем у неопромінених інтактних рослин. Разом з тим спостерігається значима стимуляція вторинного ризогенезу в опромінених у дозі 10 Гр та неопромінених рослин "суміші". Очевидно, ці результати пояснюються впливом декапітованих рослин на результати конкуренції між первинними та вторинними меристемами, що мають назву "апикального домінування". Відсутність стимуляції у варіанті "суміші опромінення у дозі 25 Гр", очевидно пояснюється тим, що ця доза вже сильно пригнічує індукцію проліферативних процесів у вторинній меристемі.

Таблиця 3. Ефекти дистанційної взаємодії опромінених та неопромінених декапітованих рослин кукурудзи сорту "Пролісок"

Варіант	Морфологічні показники		
	Довжина первинного кореня, см	Довжина зони вторинних коренів, см	Імовірність переходу до вторинного ризогенезу
Контроль	14,3 ± 0,45	4,1 ± 0,2	0,8 ± 0,07
Однорідна культура, 10 Гр	9,1 ± 0,2	1,0 ± 0,2	0,25
Однорідна культура, 30 рослин 25 Гр	8,5 ± 0,5	0	0
Декапітовані, 30 рослин	3,5 ± 0,4	1,58	1
25 (д) + 5 (10 Гр) рослин декапітовані	3,74 ± 0,3	3,74 ± 0,2	1
опромінені	10,4 ± 0,5	1,8 ± 0,2	0,55
25 (д) + 5 (25 Гр) рослин декапітовані	3,84 ± 0,4	3,84 ± 0,4	1
опромінені	9,28 ± 0,5	0	0
25 (д) + 5 (0 Гр) декапітовані	3,8 ± 0,5	3,8	1
інтактні	11,5 ± 0,4	2,35 ± 0,7	1

Таким чином проведене дослідження двох експериментальних моделей встановило факт існування взаємодій між опроміненими рослинами у водній культурі. Залишається відкритим питання не тільки про біологічний зміст деяких ефектів цих взаємодій, але й про фізичну їх природу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузин А. М. Проблемы радиобиологии // М.: Знание, 1970. - 95 с.
2. Эйдус Л. Х. Интерфазная гибель облученных тимоцитов – результат “эффекта свидетеля” // Рад. биол. Радиоэкология. - 2002. - Т. 42, № 3. С. 284 - 287.
3. Еськов Е. К., Левин В. И. Специфичность дистанционного воздействия - облученных семян растений // Там же. - С. 302 - 308.
4. Гродзинский А. М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ. - К.: Наук. думка, 1964. - 377 с.
5. Миркин Б. М., Усманов И. Ю., Хазиев Ф. Х. Экспериментальная экология. - М.: Наука, 1991. - 247 с.
6. Работнов Т. А. Экспериментальная фитоценология. - М.: Изд-во МГУ, 1987. - 160 с.
7. Уильямсон М. Анализ биологических популяций. - М.: Мир, 1975. - 268 с.

### ЭФФЕКТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБЛУЧЕННЫХ И НЕОБЛУЧЕННЫХ РАСТЕНИЙ

А. П. Кравец, Г. Д. Слинявчук, Д. М. Гродзинский, Т. А. Василенко

На двух экспериментальных моделях исследованы дистанционные взаимодействия между облученными и необлученными растениями кукурузы в условиях водной культуры. Установлена стимуляция ростовых реакций необлученных растений, что сопровождается повышением выхода хромосомных aberrаций в меристеме корней, и угнетение по сравнению с облученной однородной культурой, аналогичных показателей у облученных растений.

### DISTANCE INTERACTION EFFECTS OF IRRADIATED AND NON-IRRADIATED PLANTS

A. P. Kravets, G. D. Slinyavchuk, D. M. Grodsinsky, T. A. Vasilenko

Effects of remotely interactions between irradiated and non-irradiated Zea plants, which are in the condition of water culture, had been investigated using of two experimental models. Stimulation of growth' reactions and increase chromosome aberrations outlet for non-irradiated plant had been demonstrated. Simultaneously oppression of irradiated plants, relatively irradiated homogeneous variants, had been observed.

Надійшла до редакції 22.07.04,  
після доопрацювання – 11.02.05.