

**ДИСТАНЦІЙНИЙ ВПЛИВ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ
НА РОСТОВІ ПРОЦЕСИ В РОСЛИННОМУ ОРГАНІЗМІ****С. В. Ситнік, Д. М. Гродзинський***Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ*

В умовах повного факторного експерименту, виконаного на проростках гороху посівного *Pisum sativum L.*, показано, що внаслідок дії іонізуючого випромінювання в діапазоні доз 0,5 – 15,0 Гр у рослин виникають дистанційні ефекти як стимуляції, так і пригнічення росту. Знак дистанційного ефекту (стимуляція чи пригнічення) залежить від дози опромінення, а ступінь його прояву – від дози та часу, що пройшов з моменту опромінення. Радіочутливість ростових процесів пагона дещо вища, ніж кореня, і є більш залежною від стану решти частин організму.

Вступ

Міжелементні взаємодії на різних рівнях структурно-функціональної організації багатоклітинних організмів можуть істотно модифікувати результати дії на них зовнішніх факторів, що спостерігається, наприклад, при реакції рослин на температурні впливи [1], при радіоадаптації [2], радіотерапії пухлин [3]. Проблема частини й цілого в радіобіології незмінно постає при вивченні опосередкованих і дистанційних ефектів, біологічного підсилення первинних радіаційних пошкоджень тощо. І хоча, за висловом О. Г. Сverdлова [4], проблема ця нараховує стільки років, скільки існує радіобіологія, вона лишається актуальною й потребує детального вивчення механізмів міжсистемних взаємодій у зв'язку із необхідністю розробки способів керування реакціями багатоклітинних організмів на несприятливі зовнішні впливи. Одним із аспектів цього питання є вивчення взаємодії органів рослинного організму в процесі формування його відповіді на опромінення. Зазначена взаємодія досліджувалась досить широко, зокрема було показано негативні ефекти впливу іонізуючого випромінювання на тканини та органи, що безпосередньо не опромінювались [5 – 7]. Було також встановлено, що найінтенсивніше дистанційні ефекти дії радіації проявляються в діапазоні стимулюючих доз і доз, що викликають проліферативну загибель клітин в опроміненому органі [7]. Проте загальною ознакою всіх попередніх досліджень, виконаних у цьому напрямку, є те, що вони проводились із застосуванням тільки окремих доз, що обмежувало цілісну картину явища й обумовило проведення даної роботи, мета якої полягала в детальному дослідженні дозових залежностей дистанційних ефектів радіаційних впливів.

Методи та матеріали

Дослідження проводили за схемою повного факторного експерименту на проростках гороху посівного *Pisum sativum L.* сорту Комет. Культивування проростків здійснювали в кліматичній камері ($t = 24 \pm 1$ °C, довгий світловий день) в умовах водної культури. Чотириденні проростки опромінювали рентгенівськими променями на установці РУМ-17 при потужності експозиційної дози $462 \cdot 10^{-4}$ Кл \cdot кг⁻¹ \cdot с⁻¹ в діапазоні доз 0,5 – 15,0 Гр. Роздільне опромінення окремих органів проростків забезпечувалось шляхом екранування решти органів за допомогою свинцевих пластинок товщиною $8,5 \cdot 10^{-3}$ м. У кожному дослідному варіанті використовували вибірки із 30 рослин (з 3-кратною повторністю), усі вибірки до опромінення мали однакові частотні розподіли довжини коренів і пагонів. Реакція рослин на опромінення оцінювалась за змінами довжини головних коренів і пагонів, її визначали протягом 15 діб після опромінення. Статистична обробка результатів здійснювалась загальноприйнятими методами [8] за допомогою програми Statistica. Достовірними відмінностями між варіантами вважались при $p \leq 0,05$. Для одержання узагальнюючих кривих після побудови графіків дозових залежностей, що відповідають кожному дню спостережень,

методом трапецій розраховували їх інтеграли та співставляли їх значення з інтегралом лінії контролю. Даний показник аналогічний широковживаному у фізіології рослин показникові фотосинтетичного потенціалу [9]. У даному випадку інтегралам дозових кривих надається значення роботи росту.

Результати та їх обговорення

У результаті роботи за інтегративним показником відносної довжини, який опосередковано відображає активність мітотичних процесів у меристемах і рівень метаболізму, встановлено, що процес росту пагонів є дещо більш радіочутливим, ніж процес росту коренів при загальному опроміненні (дозы, що на 50 % пригнічують ріст, становлять 5 і 6 Гр відповідно) (рис. 1 і 2).

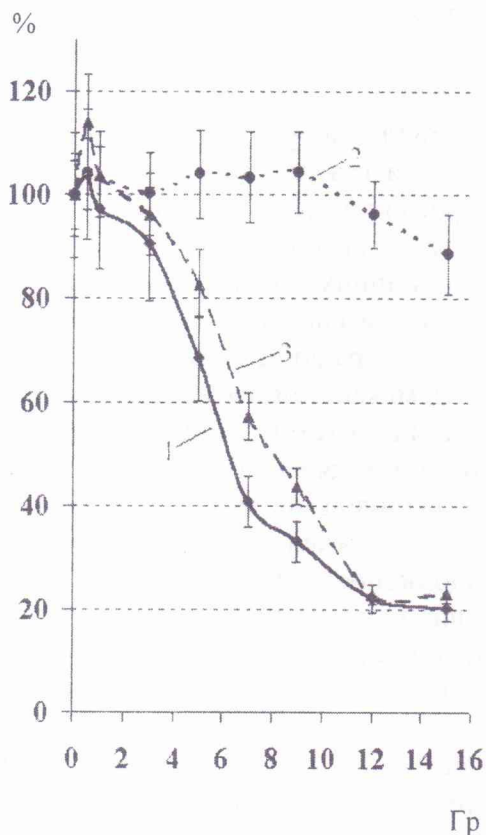


Рис. 1. Дозова залежність довжини пагонів (15-та доба після опромінення).

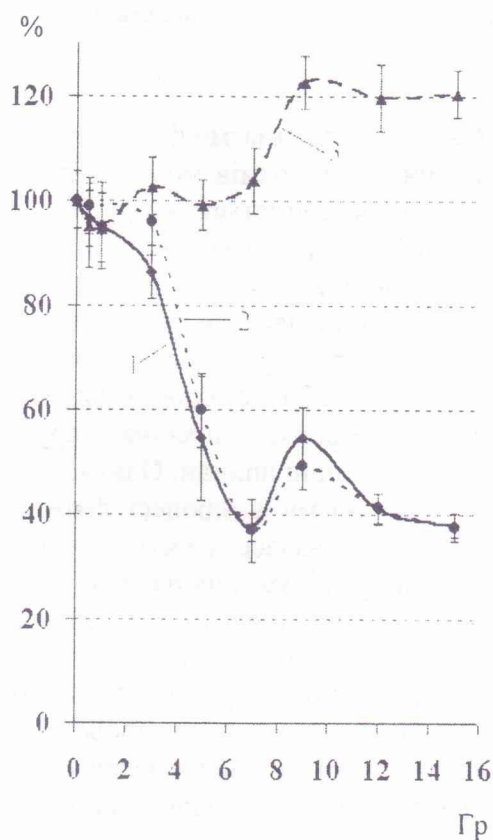


Рис. 2. Дозова залежність довжини коренів (15-та доба після опромінення).

1 - опромінення всього організму; 2 - опромінення кореня; 3 - опромінення пагона.

Застосування роздільного опромінення дозволило виявити дистанційні ефекти як стимуляції, так і пригнічення росту. Сила прояву дистанційних і прямих ефектів залежить від часу, що пройшов від початку розвитку даної радіобіологічної реакції (рис. 3 і 4).

Аналіз даних, представлених на рис. 2 і 4, дає змогу стверджувати, що криві, які відображають дозові залежності довжин локально опромінених коренів, майже збігаються з кривими дозових залежностей довжин коренів, одержаними при опроміненні всього організму. Це узгоджується з існуючими даними про автономність регуляції ростових процесів у коренях, висновок про що було зроблено за однаковою радіостійкістю ростових процесів ізольованих та інтактних коренів [10].

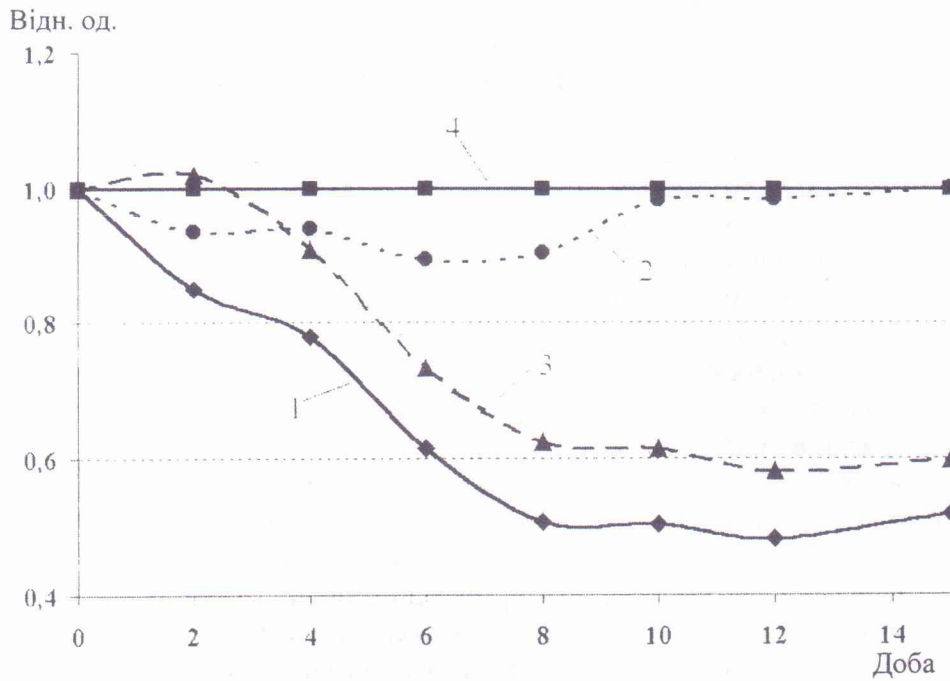


Рис. 3. Динаміка змін інтегралів графіків дозових залежностей відносної довжини пагона за умов різної локалізації опромінення: 1 - опромінення всього організму; 2 - опромінення кореня; 3 - опромінення пагона; 4 - контроль.

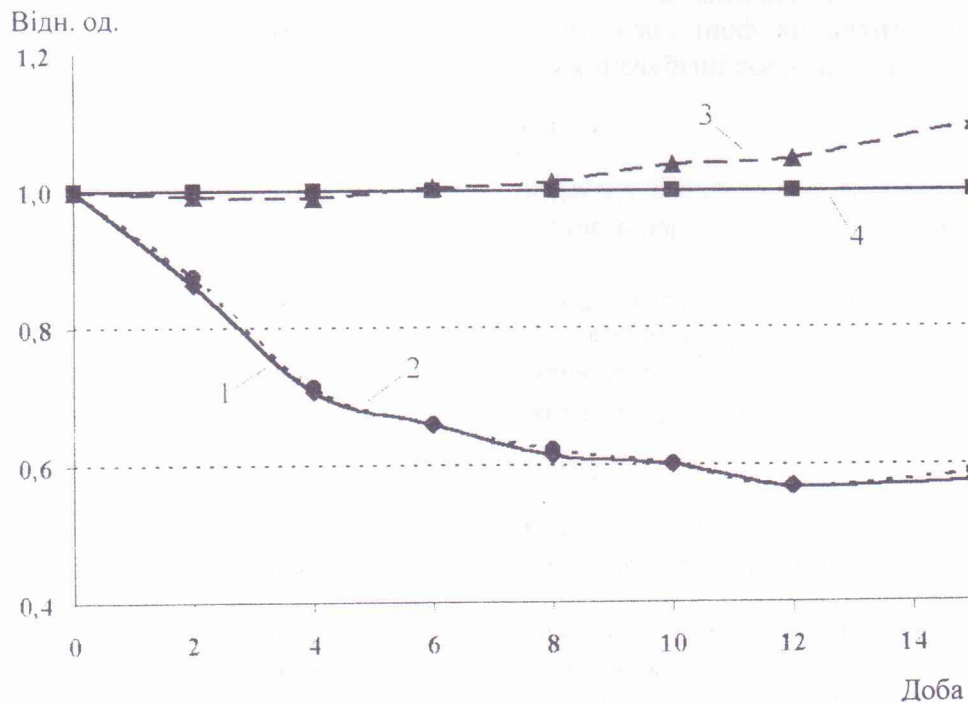


Рис. 4. Динаміка змін інтегралів графіків дозових залежностей відносної довжини кореня за умов різної локалізації опромінення: 1 - опромінення всього організму, 2 - опромінення кореня, 3 - опромінення пагона, 4 - контроль

Реакції пагона на опромінення є більш залежними від стану решти частин організму, ніж реакції кореня: дозова крива, що відповідає варіанту локального опромінення пагона, на тривалій ділянці знаходиться вище, ніж крива дозової залежності довжини цього органа при опроміненні всього організму (див. рис. 1 і 3). Різниця доз, що викликають однаковий ефект

пригнічення росту пагона після його окремого й загального (у складі проростка) опромінення, становить близько 2 Гр (у діапазоні доз 3 - 8 Гр на 8 - 12-ту добу після опромінення). Варто зазначити, що на більш ранніх чи пізніх етапах розвитку радіаційного ураження, а також при досить великих дозах (9 - 15 Гр) ефект більш сильної дії однієї й тієї ж дози іонізуючих випромінювань, одержаної органом при загальному опроміненні, ніж при локальному, знижується до мінімуму. Очевидно, ураження при цих дозах критичних структур (апикальних меристем пагона) є максимально можливим і внесок з боку опроміненого кореня вже нічого не додає до інгібуючого ефекту від прямої дії опромінення.

Пригнічення росту пагона внаслідок опромінення кореня спричиняється більшими дозами, ніж такий же зворотний вплив. В обох випадках це пригнічення в ході розвитку радіобіологічної реакції переходить у стимуляцію (див. рис. 1 і 2). Ефект появи подовжених коренів супроводжує також опромінення пагонів у дозах 9, 12 і 15 Гр (див. рис. 2 і 4), коли приріст самих пагонів майже відсутній. Пояснюючи одержані результати, не можна виключати певної радіаційної модифікації наявних у нормі гормональних, трофічних та електрофізіологічних взаємодій між органами. Питання полягає у визначенні міри їх участі в загальному ефекті дистанційного впливу. Здається найбільш імовірним, що у випадку дистанційної стимуляції росту інтактного органа дозами, при яких не було зареєстроване пригнічення опроміненого органа, більше виявляється вплив змін гормонального балансу та електрофізіологічних взаємодій, що супроводжують розвиток стрес-реакції на дію будь-якого неспецифічного фактора [11 - 13]. При дистанційному пригніченні та дистанційній стимуляції росту дозами, що є більшими/рівними від $1,5 \cdot ID_{50}$, де ID_{50} - доза, яка на 50 % пригнічує ріст опроміненого органа, більший вплив повинні мати гормональні (зменшення синтезу фітогормонів пригніченим органом) і трофічні взаємодії. Так, при видовженні коренів унаслідок опромінення пагонів у дозах 9 - 15 Гр негативна дія опроміненого пагона на корінь непомітна на фоні „позитивного” ефекту збільшення доступності поживних речовин сім'ядоль унаслідок інгібування конкуруючого органа.

Висновки

При реалізації радіаційного ураження в цілісному рослинному організмі радіочутливість ростових процесів пагона дещо вища, ніж кореня, і є більш залежною від стану решти частин організму.

Унаслідок дії іонізуючого випромінювання в рослин спостерігаються дистанційні ефекти як стимуляції, так і пригнічення.

Знак дистанційного ефекту залежить від дози опромінення, а ступінь прояву - від дози й часу, що пройшов з моменту опромінення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Акимова Т. В., Балагурова Н. И., Тутов А. Ф., Мешкова Е. А.* Повышение теплоустойчивости листьев при локальном прогреве проростков // Физиология растений. - 2001. - Т. 48, № 4. - С. 584 - 588.
2. *Серебряный А. М., Зоз Н. Н.* Радиационный адаптивный ответ у пшеницы. Феноменология и вероятный механизм // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2001. - Т. 41, № 5. - С. 589 - 598.
3. *Копылов В. А., Нариманов А. А., Ревин А. Ф., Кузин А. М.* О вкладе опосредованного действия γ -радиации в гибель лимфоидных клеток // Радиобиология. - 1987. - Т. 28, вып. 1. - С. 20 - 23.
4. *Свердлов А. Г.* Опосредованное действие ионизирующего излучения. - М.: Атомиздат, 1968. - 271 с.
5. *Крюкова Л. М., Кузин А. М.* О дистанционном воздействии ионизирующей радиации на растения // Физиология растений. - 1960. - Т. 7, вып. 2. - С. 220 - 222.
6. *Радиотоксины, их природа и роль в биологическом действии радиации высоких энергий.* - М.: Атомиздат, 1966. - 208 с.
7. *Михеев А. Н.* Роль взаимодействия клеток, тканей и органов в формировании радиобиологических реакций растения: Автореф. дис. ... канд. биол. наук - Киев, 1983. - 24 с.

8. *Лакин Г. Ф.* Биометрия. - М.: Высш. шк., 1990. - 352 с.
9. *Гродзинский А. М., Гродзинский Д. М.* Краткий справочник по физиологии растений. - Киев: Наук. думка, 1973. - 591 с.
10. *Даскалюк А. П., Гродзинский Д. М.* Применение культуры изолированных корней в радиобиологических исследованиях // Физиология и биохимия культурных растений. - 1973. - Т. 5, вып. 3. - С. 271 - 275.
11. *Оприлов В. А., Крауз В. О., Треушников В. М.* Роль электрической реакции возбуждения в осуществлении функциональной связи между надземной частью и корнями при действии на верхушки проростков внешних раздражителей // Физиология растений. - 1972. - Т. 19. - С. 961 - 967.
12. *Shevyakova N. I., Rakitin V. Yu., Sodomov N. G. et al.* Ethylene-dependent polyamine accumulation and translocation throughout the plant as is long-distant stress signal // Int. Symp. „Intracellular Signalling in Plant and Animal Systems” (Kyiv, 9 - 14 Sept., 2001). - Kyiv, 2001. - P. 97.
13. *Talanova V. V., Titov A. F., Akimova T. V.* The participation of abscisic acid in root-shoot communications in cucumber seedlings exposed to local heating and salinity // Ibid. - P. 101.

ДИСТАНЦИОННОЕ ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В РАСТИТЕЛЬНОМ ОРГАНИЗМЕ

С. В. Сытник, Д. М. Гродзинский

В условиях полного факторного эксперимента, выполненного на проростках гороха *Pisum sativum L.*, показано, что вследствие действия ионизирующего излучения в диапазоне доз 0,5 - 15,0 Гр у растений возникают дистанционные эффекты как стимуляции, так и угнетения роста. Знак дистанционного эффекта (стимуляция или угнетение) зависит от дозы облучения, а степень его проявления - от дозы и времени, прошедшего от момента облучения. Радиочувствительность ростовых процессов стебля несколько выше, нежели корня, и более зависима от состояния остальных частей организма.

REMOTE INFLUENCE OF IONIZING RADIATION ON THE PROCESSES OF GROWTH IN A PLANT ORGANISM

S. V. Sytnik, D. M. Grodzinsky

The research of mutual effect of plant organs during the formation of radiation effect was carried out by means of a local irradiation of roots or stems of *Pisum sativum L.* seedlings in doses 0,5 - 15,0 Gy. Both stimulating and inhibiting effects of the separate irradiated organ on unirradiated part of a plant were shown. The sign of the effect depended on a dose, but the intensity of exerting depended on the time interval after irradiation. It is established that radiosensitivity of stems is a little bit higher than radiosensitivity of roots. The radiobiological response of stems is more dependent on irradiation of last organism parts than the radiobiological response of roots.

Надійшла до редакції 26.03.04,
після доопрацювання – 17.05.04.