

УДК 577.34

DOI <https://doi.org/10.33989/2022.8.2.285318>

М. А. Юзик

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнко
вул. І. Огієнко, 63, Кам'янець-Подільський, Хмельницька область, 32300,
Україна

yuzuk.mykola@gmail.com

ORCID 0000-0002-7367-524X

ВПЛИВ γ -ОПРОМІНЕННЯ НА ПРОРОСТАННЯ НАСІННЯ ТА РІСТ ПРОРОСТКІВ *GYP SOPHILA* *THYRAICA* *KRASNOVA* (*CARYOPHYLLACEAE*)

Проведено аналіз лабораторної схожості та енергії проростання насіння *Gypsophila thyraica* Krasnova s. str. – рідкісного, реліктового, подільського ендемічного виду. Насіння опромінювали малими дозами (5, 15, 30 Гр) гамма-випромінювання (^{60}Co) і пророщували у лабораторних умовах протягом 14 днів у двократному повторі. Встановлено, що насіння *G. thyraica*, опромінене γ -променями, переважає за швидкістю проростання і подальшого росту та кількістю проростків. Встановлено стимулюючу дію на схожість, енергію проростання насіння і розвиток проростків при γ -опроміненні дозами 15 і 30 Гр. Енергія проростання в усіх опроміненіх зразків невисока, у контрольному неопромінену варіанті не визначалась у зв'язку з відсутністю пророслого насіння. Аналіз морфометричних показників теж показав позитивну динаміку: в опроміненіх зразках збільшувалися загальні розміри проростків (у 5-6 разів у порівнянні з контрольним зразком), практично відсутні пригнічені особини, тоді як у контрольних зразків ріст сповільнений, насіння частіше не розвивалося, навіть після початку проростання. Загалом, результати 1 і 2 проб є подібними і підтверджують висновок, про стимулюючу дію на насіння низьких доз γ -опромінення.

Ключові слова: *Gypsophila thyraica*, рідкісний вид, насіння, γ -опромінення, енергія проростання, лабораторна схожість

Вступ. Вивчення адаптаційних можливостей рослин до різних по своїй природі стрес-факторів актуальне для прогнозування стійкості функціонування екосистем в умовах нестабільного середовища, при виникненні антропогенного навантаження в цілому та радіації зокрема. Значна кількість робіт присвячена дослідженню радіочутливості рослинних організмів (Гродзинський, 2005; Hussain et al., 2017; Jaipr N. et al., 2019; Юзик та ін., 2021; Taher et.al., 2022), при цьому основна увага приділяється культурним видам. Разом з тим, питання впливу іонізуючого випромінювання на дикорослі види рослин, які є важливим компонентом біосфери, залишається недостатньо вивченим.

Іонізуюче випромінювання містить достатню кількість енергії для витіснення електронів на орбіті атома та спричиняє його іонізацію (Ward, 1988). Може виникати в природі як космічні промені галактик та сонячне випромінювання, від розпаду ядер радіоактивних матеріалів, які переважно є ізотопами урану, радію, цезію, кобальту, калію та свинцю. Штучні джерела іонізуючих випромінювань використовуються для промислових і медичних цілей (наприклад, ^{60}Co або ^{137}Cs), при випробовуванні ядерної зброї, в роботі атомних станцій.

Відомо, що часто одні і ті ж дози іонізуючого опромінення викликають діаметрально протилежні відповіді у різних організмів. Насіння, яке знаходиться в стані спокою, стабільніше до дії іонізуючого випромінювання, ніж дорослі рослини. У зв'язку з цим важливо з'ясувати, як γ -опромінення насіння в малих дозах позначається на подальшому розвитку рослин на початкових етапах онтогенезу.

Одним з етапів вивчення рідкісних видів є з'ясування можливостей адаптації рослин до змінених умов. Об'єктом дослідження є *Gypsophila thyratica* Krasnova s. str. – рідкісний подільський ендемічний вид, релікт (Червона книга України, 2009; Заверуха, 1986; Крицька, 1998). Розмноження рослин відбувається виключно генеративним способом, тому виживання популяції визначається саме збереженням життєздатності насіння. Насіння з низьким відсотком схожості спричиняє зміну демографічного складу популяції (Федорончук, 2006; Насіннезнавство..., 2011), зокрема, знижується кількість проростків, що особливо небезпечно для раритетних видів. Тому актуальним є аналіз впливу різних чинників передусім на насінневе відтворення виду.

Матеріали і методи дослідження. Насінневий матеріал виду відібрано в умовах заказника «Вербецькі Товтри» (Хмельницька область) у 2020-2021 рр. опромінення насіння проводили на установці «Исследователь РХ-γ-30» гамма-квантами (^{60}Co) (Науково-дослідний інститут хімії при Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна). Потужність дози джерела становила 36 Гр/хв.

Лабораторну схожість та енергію проростання визначали в лабораторних умовах методом пророщування, який дозволяє визначити кількість насінин у відсотках, здатних утворювати добрі і пропорційно розвинуті, цілі, здорові або ж з незначними дефектами проростки за оптимальних умов пророщування за загальноприйнятими методиками (Насіннезнавство..., 2011; Насіння..., 2003). Експеримент тривав 14 днів і повторювався двічі (проба 1-2). У кожній пробі аналізувалося по 200 насінин, які розподілені по 50 шт. у чотири варіанти з різними дозами опромінення: В. 1 – 5 Гр, В. 2 – 15 Гр, В. 3 – 30 Гр, В. 4 – контрольна неопромінювана група (рис. 1).



Рис. 1. Перший день пророщування насіння *Gypsophila thyratica* у різних варіантах опромінення

Після початку проростання, щодня підраховувалась кількість нормальних та аномальних пророслих насінин, на четвертому-шостому дні вимірювалась довжина проростків, на четвертий день обчислювалася енергія проростання насіння у відсотках до висіяної проби у кожному варіанті. Насіння вважалося пророслим, якщо мало розвинутий головний зародковий корінець, розміром не менше, ніж довжина (діаметр) насінини. Статистичну обробку результатів дослідження здійснено за загальноприйнятими методиками (Приседський, 1999).

Результати та їх обговорення. Одним із видів іонізуючого випромінювання є гамма-випромінювання, яке залежно від дози радіації, викликає різні біологічні ефекти, такі як інгібування, стимуляцію, мутацію або загибель клітин. У даний час вплив іонізуючого випромінювання на рослини більш відомий при гострих високих дозах, оскільки, безпосередньо після ядерних катастроф (наприклад, Чорнобиль і Фукусіма), проведено багато польових досліджень, контрольованих польових досліджень з використанням точкових джерел, лабораторних експериментальних досліджень з використанням гострих високих доз (більшість з яких були використані для індукції мутації з метою покращення врожаю). У цих дослідженнях різні рослини по-різному реагують на різні дози гамма-опромінення, менші дози (<100 Гр) загалом стимулюють ріст і розвиток рослин, у той час як летальні/гальмівні ефекти спостерігалися при більш високих дозах (>200 Гр) (Atteh, Adeyeye, 2022).

Вплив гамма-випромінювання на врожай було доведено дослідниками з усього світу. Повідомляється, що низькі дози стимулюють ріст рослин, підвищують схожість насіння. Так, існують дані, що низькі дози гамма-випромінювання підвищують відсоток схожості та стимулюють ріст розсади *Lathyrus chrysanthus* Boiss. (Beyaz et al., 2016); *Cucumis sativus*, *Abelmoschus esculentus* (Jaipr N. et al., 2019); томатів (Wiendl та ін., 2013); кількість коренів, масу розсади, відсоток схожості та час проростання *Helianthus annuus* L. (Hussain F. et al., 2017); стимулюють фізіологічні параметри *Zea mays* L., *Lactuca sativa* var. *capitata* L. (Marcu et al., 2013 а, б); покращують морфологічні ознаки *Oryza sativa* L., *Phaseolus mungo* L. (Maity et al., 2005) тощо.

З іншого боку, деякі дослідження показують, що радіоактивна стимуляція має тимчасовий ефект. Вважається, що різниця в результатах радіоактивної активації обумовлена впливом різних факторів: біологічні властивості матеріалу, що піддається дії радіації і його фізіологічний стан; зовнішні фактори, такі як вологість, температура, освітлення; термін зберігання до і після опромінення; потужність доз опромінення; родючість ґрунту та генотип (Taher et al., 2022).

Таким чином, рослини можуть піддаватися впливу природного фону і антропогенних джерел (Beresford et al., 2011), що спричиняють порушення нормальних процесів і функціонування клітини (Chaudhuri, 2002; Kim et al., 2004; Ling et al., 2008), а через статичний спосіб життя рослин, вони не можуть уникнути більшості цих екологічних стресів. Іонізуюче випромінювання може порушити деякі регулярні моделі розвитку в зелених рослинах, а також інші процеси, які можуть викликати морфологічні зміни клітин, які в основному виражаються як морфогенетичні риси. Однак ефект цих опромінь залежить від кількох факторів, які пов'язані з певними характеристиками рослин (наприклад, стадія розвитку, фізіологічні умови, індивідуальні особливості видів) або з радіацією – доза, якість і тривалість впливу (Majeed et al., 2017), а також з різноманітними екологічними факторами (Jan et al., 2011; Kim, et al. 2011).

Інформації щодо проведення подібних досліджень стосовно дикорослих раритетних представників флори України нами не відмічено. Дана стаття є продовженням серії публікацій, присвяченим аналізу впливу іонізуючих і неіонізуючих випромінювань на репродуктивну сферу рідкісних рослин (Юзик та ін., 2020, 2021; Юзик, 2022).

Проведено аналіз лабораторної схожості та енергії проростання насіння *G. thyratica* при передпосівному γ -опроміненні. Під час експерименту спостерігали п'ять фаз проростання насіння досліджуваного виду: водопоглинання; набухання (бубнявіння); ріст первинних корінців; розвиток проростка (паростка); становлення проростка (Юзик, 2022).

Проба № 1. Тривалість експерименту 2 тижні. Проростання опроміненого насіння у 1, 2, і 3 варіантах почалося на 5-й день з моменту закладання експерименту, у четвертому варіанті – неопромінене насіння почало проростати лише на 8 день. Лабораторна схожість насіння на кінець експерименту була низькою у всіх варіантах: у 1-му – 10%, у 2-му – 18%, у 3-му – 24%, у контрольній групі, яка не опромінювалася, найнижчою – 8%. Найбільша кількість пророслих насінин зафіксована на 7-й день після початку експерименту у 1 і 2 варіантах, тоді як у 3 і 4 варіантах – на 10-й (рис. 2). Далі проростання нового насіння практично не спостерігалось (рис. 3).

Енергія проростання насіння обчислювалася у відсотках до висіяної проби на 5-й день у кожному варіанті. У 1 варіанті вона становила 2%, у 2 і 3-му – 12%, у контрольному – проростання на той момент не зафіксоване (0%). Починаючи з сьомого дня у 2 і 3 варіантах окремі проростки почали відділятися від насіння, перейшовши у «фазу двох листочків».

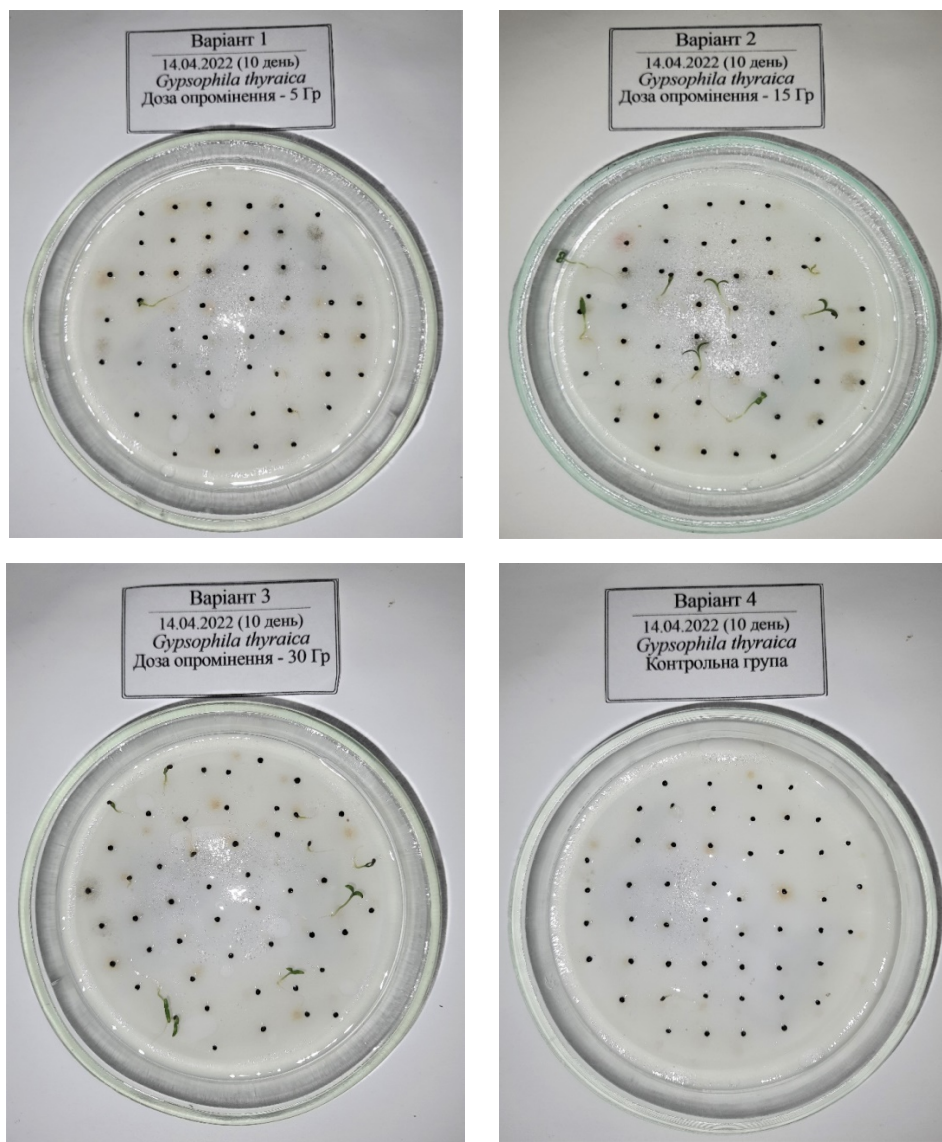


Рис. 2. Десятий день проростання насіння *Gypsophila thyracea* у різних варіантах опромінення

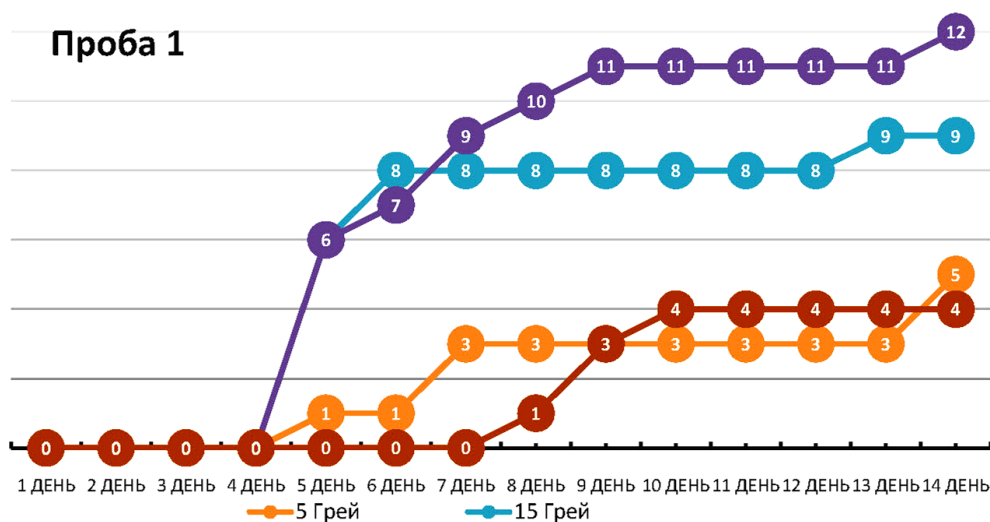


Рис. 3. Кількість пророслих насінин *Gypsophila thyracea* при різних дозах передпосівного γ -опромінення. Проба насіння 1

Вимірювання довжини проростків на 5-7 дні експерименту свідчить про незначні відхилення в розмірах і швидкості розвитку рослин у різних варіантах опромінення. Загалом, у 1 варіанті середня довжина проростків збільшилася від 2 до 4,8 мм, у другому – від 1,8 до 8,7 мм, у третьому – від 1,3 до 6,0 мм. У контрольному варіанті вимірювання не проводилося, у зв'язку з відсутністю пророслого насіння.

Загалом у всіх варіантах спостерігається низька інтенсивність проростання насіння. Проте, опромінені зразки в порівнянні з неопроміненними, мали вищі показники швидкості, енергії проростання та лабораторної схожості насіння. Найкращими показниками характеризувалися другий і третій варіанти (доза опромінення 15 і 30 Гр), тоді як показники першого варіанту (5 Гр) були наближеними до контрольного неопроміненого зразка.

Проба насіння № 2. У другій пробі проростання насіння розпочалося на третій день, але тільки у 1 і 3 варіантах (рис. 4). На четвертий день проростки з'явилися також у другому варіанті і лише на шостий день – у четвертому неопроміненому.

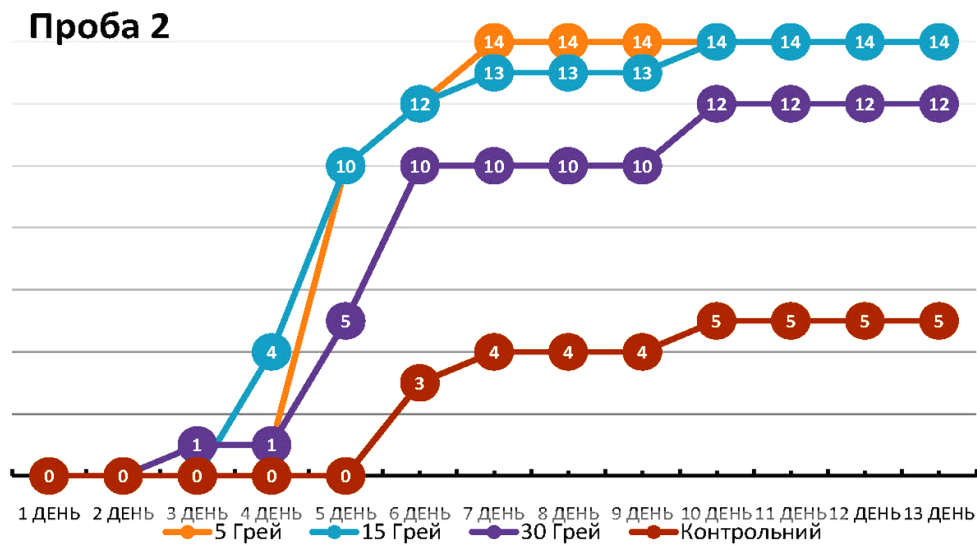


Рис. 4. Кількість пророслих насінин *Gypsophila thyratica* при різних дозах передпосівного γ -опромінення. Проба насіння 2.

На п'ятий день спостерігається різке збільшення пророслих насінин у 1-3 варіантах (рис. 4). Енергія проростання насіння проаналізована теж на 5 день і становила в першому і другому варіантах – 20% (по 10 проростків), у варіанті 3 – 10% (5 проростків), у варіанті 4 – не визначалася, у зв'язку з відсутністю пророслого насіння. Встановлено, що інтенсивне проростання насіння спостерігалось до восьмого дня включно в опроміненних зразків і до десятого – у контрольних. Так, станом на восьмий день у В.1. проросло 14 насінин, у В. 2. – 13, у В. 3 – 10; у В. 4 – 4, усі проростки перейшли у фазу «двох листочків» та відділилися від насінин. Надалі процес проростання різко сповільнився. У варіанті 1 не проросло більше жодної насінини, загальна кількість на кінець експерименту становила 14 проростків (28%). У варіанті 2 загальна кількість пророслих насінин склала 14 проростків (28%), у варіанті 3 – 12 проростків (24%), у варіанті 4 – 5 проростків (10%). Через тиждень після закінчення експерименту, на 21 день, зафіксовано ще три пророслих насінини у третьому варіанті, насіння в інших варіантах залишилося без змін.

Проаналізовано також довжину насінневих проростків *G. thyratica* на 4-5-6 дні після γ -опромінення у різних варіантах. За результатами аналізу кількісних параметрів проростків їхня середня довжина з п'ятого по сьомий дні змінювалася у 1-4 варіантах наступним чином: В. 1 – 2,8-4,6 мм; В. 2 – 2,0-3,4 мм; В. 3 – 1,0-3,9 мм; В. 4 – 0,7-1,0. Загалом, проростки у 1-3 варіантах, характеризувалися інтенсивнішим ростом первинних корінців та потужнішим загальним розвитком, у порівнянні з контрольним неопроміненим зразком.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що насіння, опромінене γ -променями, переважає за швидкістю проростання і подальшого росту, кількістю проростків, а також за його якістю (рівномірні сходи, відсутні аномальні проростки). Встановлено стимулюючу дію на схожість, енергію проростання насіння і розвиток проростків *G. thuraica* при γ -опроміненні дозами 15 і 30 Гр. Енергія проростання в усіх опроміненних зразків невисока, проте у неопроміненних не визначалась взагалі, оскільки проростання насіння почалося значно пізніше. Аналіз морфометричних показників теж показав позитивну динаміку: в опроміненних зразках збільшуються загальні розміри проростків (у 5-6 разів у порівнянні з контрольним зразком), практично відсутні пригнічені особини, тоді як у контрольних зразків ріст сповільнений, насіння частіше не розвивалося, навіть після початку проростання. Загалом, результати 1 і 2 проб є подібними і підтверджують висновок про стимулюючу дію на насіння низьких доз γ -опромінення.

ЛІТЕРАТУРА

- Гродзинський Д. М. Парадигми сучасної радіобіології. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. 2005. Вип. 3, ч. 2. С. 9–16.
- Гродзинський Д. М. Радіаційний гормезис – ретроспектива і сучасність. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. 2005. Вип. 3, ч. 2. С. 17–30.
- Заверуха Б. В. Флора Волино-Подолії и ее генезис. Київ : Наукова думка, 1985. 192 с.
- Крицька Л. І. Ендемізм флори степів та вапнякових відслонень правобережного злакового степу. *Укр. ботан. журн.* 1998. Т. 45, № 4. С. 15–19.
- Насіннезнавство та методи визначення якості насіння сільськогосподарських культур : навч. посіб. / за ред. С. М. Каленської. Вінниця : ФОП Данилюк, 2011. 322 с.
- Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості: ДСТУ-4138-2002 [Чинний від 01-01-2004]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.
- Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. Донецьк : Кассиопея, 1999. 210 с.
- Федорончук М. М. Родина *Caryophyllaceae* Juss. у флорі України: систематика, географія, історія розвитку. Київ, 2006. 42 с.
- Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. Київ : Глобалколсалтинг, 2009. 900 с.
- Юзик М. А. Особливості проростання насіння *Gypsophila thuraica* Krasnova (*Caryophyllaceae*) внаслідок передпосівної дії малих доз γ -опромінення. *Молодь і поступ біології* : збірник тез доповідей XVIII Міжнар. наук. конф. студентів і аспірантів, присвяченої 195-річчю від дня народження Юліуса Планера (м. Львів, 6-7 жовт. 2022 р.). Львів : СПОЛОМ, 2022. С. 5–56.
- Юзик М. А., Любінська Л. Г., Оптасюк О. М., Григорчук І. Д. Сучасні тенденції досліджень впливу γ -випромінювання та ультрафіолетового випромінювання на рослини. *Біологія та екологія*. 2021. Т. 7, № 1. С. 56–63. DOI: <https://doi.org/10.33989/2021.7.1.243446>
- Юзик М., Оптасюк О., Бобров О., Лісова У. Аналіз насінневої схожості *Gypsophila thuraica* Krasnova (*Caryophyllaceae*) під впливом ультрафіолетового випромінювання. *Природа Поділля: вивчення, проблеми збереження* : матеріали наук.-практ. конф., присвяченої 30-річчю природного заповідника «Медобори» (Гримайлів, 20-21 серп. 2020 р.). Тернопіль : Підручники і посібники, 2020. С. 352–357.
- Atteh A., Adeyeye A. Effect of Low Gamma Irradiation on the Germination and Morphological Characteristics of Broad Beans (*Vicia faba* L.), Mung Beans (*Vigna radiata* L.), and Peas (*Pisum sativum* L.) Seedlings. *Natural Resources*. 2022. Vol. 13, № 5. P. 105–125. DOI: <https://doi.org/10.4236/nr.2022.135008>
- Beresford N. A., Copplestone D. Effects of Ionizing Radiation on Wildlife: What Knowledge Have We Gained between the Chernobyl and Fukushima Accidents? *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2011. Vol. 7. P. 371–373. DOI: <https://doi.org/10.1002/ieam.238>

- Beyaz R., Kahramanogullari C. T., Yildiz C., Darcin E. S., Yildiz M. The effect of gamma radiation on seed germination and seedling growth of *Lathyrus chrysanthus* Boiss. under in vitro conditions. *J. Environ. Radioact.* 2016. P. 162–163, 129–133. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.05.006>
- Chaudhuri S. K. A Simple and Reliable Method to Detect Gamma Irradiated Lentil (*Lens culinaris* Medik.) Seeds by Germination Efficiency and Seedling Growth Test. *Radiation Physics and Chemistry*. 2002. Vol. 64. P. 131–136. DOI:
- Hussain F., Iqbal M., Shah S. Z., Qamar M. A., Bokhari T. H., Abbas M., Younus M. Sunflower germination and growth behavior under various gamma radiation absorbed doses. *Acta Ecol. Sin.* 2017. Vol. 37, № 1. P. 48–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2016.09.009>
- Jaipo N. et al. Low dose gamma radiation effects on seed germination and seedling growth of cucumber and okra. *Journal of Physics*. 2019. Conference Series 1380. 012106. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1380/1/012106>
- Jan S., Parween, T., Soddiqi, T., Uzzafar M. Effect of Gamma Radiation on Morphological, Biochemical, and Physiological Aspects of Plants and Plant Products. *Environmental Reviews*. 2011. Vol. 20. P. 17–39. DOI: <https://doi.org/10.1139/a11-021>
- Kim J., Baek M., Chung B.Y., Wi, S. G., Kim J. Alterations in the Photosynthetic Pigments and Antioxidant Machineries of Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) Seedlings from Gamma-Irradiated Seeds. *Journal of Plant Biology*. 2004. Vol. 47. P. 314–321. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03030546>
- Kim J., Moon Y. R., Lee M. H., Kim J. H., Wi S. G., Park B., Kim, C. S., Chung B. Y. Photosynthetic Capacity of Arabidopsis Plants at the Reproductive Stage Tolerates γ Irradiation. *Journal of Radiation Research*. 2011. Vol. 52. P. 441–449. DOI: <https://doi.org/10.1269/jrr.10157>
- Ling A., Kiong, P., Lai A., Hussein S., Harun A. R. Physiological Responses of *Orthosiphon stamineus* Plantlets to Gamma Irradiation. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 2008. Vol. 2. P. 135–149.
- Maity J. P., Mishr, D., Chakraborty A., Saha A., Santra S. C., Chanda S. Modulation of Some Quantitative and Qualitative Characteristics in Rice (*Oryza sativa* L.) and Mung (*Phaseolus mungo* L.) by Ionizing Radiation. *Radiation Physics and Chemistry*. 2005. Vol. 74. P. 391–394.
- Majeed A., Muhammad Z., Ullah Z., Ullah, R. Effect of Gamma Irradiation on Growth and Post-Harvest Storage of Vegetables. *PSM Biological Research*. 2017 Vol. 2. P. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2004.08.005>
- Marcu D., Cristea V., Daraban L. Dose-dependent effects of gamma radiation on lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata) seedlings. *Int. J. Radiat. Biol.* 2013. Vol. 89, № 3. P. 219–223. DOI: <https://doi.org/10.3109/09553002.2013.734946>
- Marcu D., Damian G., Cosma C., Cristea V. Gamma radiation effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (*Zea mays*). *J. Biol. Phys.* 2013. Vol. 39, № 4. P. 625–634. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10867-013-9322-z>
- Taher M. S., Alamrani Y. A., Hassn I. A., Aneed I. K., Kadem A. B. The influence of gamma rays and electric shock on seed germination and seedling growth in burdock plants. *Revis Bionatura*. 2022. Vol. 7, № 1. P. 30. DOI: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2022.07.01.30>.
- Ward J. F. DNA Damage Produced by Ionizing Radiation in Mammalian Cells: Identities, Mechanisms of Formation, and Reparability. *Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology*. 1988. Academic Press, Cambridge. P. 95–125. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0079-6603\(08\)60611-X](https://doi.org/10.1016/S0079-6603(08)60611-X)
- Wiendl Toni A., Wiendl Fritz W., Franco Suely S. H., Franco Jose G., Althur Valter, Arthur Paula B. Effects of gamma radiation in tomato seeds. *INAC: international nuclear atlantic conference*. 2013. Brazil. Vol. 45. P. 36.

REFERENCES

- Atteh, A., & Adeyeye, A. (2022). Effect of Low Gamma Irradiation on the Germination and Morphological Characteristics of Broad Beans (*Vicia faba* L.), Mung Beans (*Vigna radiata* L.), and Peas (*Pisum sativum* L.) Seedlings. *Natural Resources*, 13, 5, 105-125. DOI: <https://doi.org/10.4236/nr.2022.135008>
- Beresford, N.A., & Coplestone, D. (2011). Effects of Ionizing Radiation on Wildlife: What Knowledge Have We Gained between the Chernobyl and Fukushima Accidents? *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7, 371-373. DOI: <https://doi.org/10.1002/ieam.238>
- Beyaz, R., Kahramanogullari, C. T., Yildiz, C., Darcin, E. S. & Yildiz, M. (2016). The effect of gamma radiation on seed germination and seedling growth of *Lathyrus chrysanthus* Boiss. under in vitro conditions. *J. Environ. Radioact.* 162-163, 129-133. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.05.006>
- Chaudhuri, S. K. (2002). A Simple and Reliable Method to Detect Gamma Irradiated Lentil (*Lens culinaris* Medik.) Seeds by Germination Efficiency and Seedling Growth Test. *Radiation Physics and Chemistry*, 64, 131-136. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0969-806X\(01\)00467-4](https://doi.org/10.1016/S0969-806X(01)00467-4)
- Didukh, Ya. P. (Ed.). (2009). *Chervona knyha Ukrainy. Roslynnyi svit [Red Book of Ukraine. Plant world]*. Kyiv: Hlobkolsaltynh [in Ukrainian].
- Fedoronchuk, M. M. (2006). *Rodyna Caryophyllaceae Juss. u flori Ukrainy: systematyka, heohrafiia, istoriia rozvytku [Family Caryophyllaceae Juss. in the flora of Ukraine: systematics, geography, history of development]*. Kyiv [in Ukrainian].
- Hrodzynskiy, D. M. (2005a). Paradyhmy suchasnoi radiobiologii. [Paradigms of modern radiobiology]. *Problemy bezpeky atomnykh elektrostancij i Chornobylja [Safety concerns of nuclear power plants and Chernobyl]*, 3, 2, 9-16 [in Ukrainian].
- Hrodzynskiy, D. M. (2005b). Radiatsiyni hormezys – petrospektyva i suchasnist [Radiation hormesis - petrospective and modernity]. *Problemy bezpeky atomnykh elektrostancij i Chornobylja [Safety concerns of nuclear power plants and Chernobyl]*, 3, 2, 17-30 [in Ukrainian].
- Hussain, F., Iqbal, M., Shah, S. Z., Qamar, M. A., Bokhari, T. H., Abbas, M., & Younus, M. (2017). Sunflower germination and growth behavior under various gamma radiation absorbed doses. *Acta Ecol. Sin.*, 37, 1, 48-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2016.09.009>
- Jaipo, N., Kosiwikul, M., Panpuang, N., & Prakrajang, K. (2019). Low dose gamma radiation effects on seed germination and seedling growth of cucumber and okra. *Journal of Physics: Conference Series* 1380, 012106, 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1380/1/012106>
- Jan, S., Parween, T., Soddiqi, T., & Uzzafar, M. (2011). Effect of Gamma Radiation on Morphological, Biochemical, and Physiological Aspects of Plants and Plant Products. *Environmental Reviews*, 20, 17-39. DOI: <https://doi.org/10.1139/a11-021>
- Kalenska, S. M. (Ed.) (2011). *Nasinnieznavstvo ta metody vyznachennia yakosti nasinnia silskohospodarskykh kultur [Seed studies and methods of determining the quality of seeds of crops]*. Vinnytsia: FOP Danyliuk [in Ukrainian].
- Kim, J., Baek, M., Chung, B. Y., Wi, S. G., & Kim, J. (2004). Alterations in the Photosynthetic Pigments and Antioxidant Machineries of Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) Seedlings from Gamma-Irradiated Seeds. *Journal of Plant Biology*, 47, 314-321. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03030546>
- Kim, J., Moon, Y. R., Lee, M. H., Kim, J. H., Wi, S. G., Park, B., Kim, C. S., & Chung, B. Y. (2011). Photosynthetic Capacity of Arabidopsis Plants at the Reproductive Stage Tolerates γ Irradiation. *Journal of Radiation Research*, 52, 441-449. DOI: <https://doi.org/10.1269/jrr.10157>

- Krytska, L. I. (1998). Endemizm flory stepiv ta vapniakovykh vidslonen pravoberezhnoho zlakovoho stepu [Endemic flora of steppes and limestone sections of the right-bank cereal steppe]. *Ukr. botan. Zhurn [Ukrainian Botanical Journal]*, 45, 4, 15-19 [in Ukrainian].
- Ling, A., Kiong, P., Lai, A., Hussein, S., & Harun, A. R. (2008). Physiological Responses of *Orthosiphon stamineus* Plantlets to Gamma Irradiation. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 2, 135-149.
- Maity, J. P., Mishra, D., Chakraborty, A., Saha, A., Santra, S. C., & Chanda, S. (2005). Modulation of Some Quantitative and Qualitative Characteristics in Rice (*Oryza sativa* L.) and Mung (*Phaseolus mungo* L.) by Ionizing Radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 74, 391-394.
- Majeed, A., Muhammad, Z., Ullah, Z., & Ullah, R. (2017). Effect of Gamma Irradiation on Growth and Post-Harvest Storage of Vegetables. *PSM Biological Research*, 2, 30-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2004.08.005>
- Marcu, D., Cristea, V., & Daraban, L. (2013). Dose-dependent effects of gamma radiation on lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*) seedlings. *Int. J. Radiat. Biol.*, 89, 3, 219-223. DOI: <https://doi.org/10.3109/09553002.2013.734946>
- Marcu, D., Damian, G., Cosma, C., & Cristea, V. (2013). Gamma radiation effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (*Zea mays*). *J. Biol. Phys.*, 39, 4, 625-634. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10867-013-9322-z>
- Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti [Seeds of crops. Quality methods]* (2003). DSTU-4138-2002. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].
- Prysedskiy, Yu. H. (1999). *Statystychna obrobka rezultativ biolohichnykh eksperymentiv [Statistical processing of results of biological experiments]*. Donetsk: Kassyopeia [in Ukrainian].
- Taher, M. S., Alamrani, Y. A., Hassn, I. A., Aneed, I. K., & Kadem, A. B. (2022). The influence of gamma rays and electric shock on seed germination and seedling growth in burdock plants. *Revis Bionatura*, 7, 1, 30, 1-4. DOI: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2022.07.01.30>.
- Ward, J. F. (1988). DNA Damage Produced by Ionizing Radiation in Mammalian Cells: Identities, Mechanisms of Formation, and Reparability. *Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology* (pp. 95-125). Academic Press, Cambridge. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0079-6603\(08\)60611-X](https://doi.org/10.1016/S0079-6603(08)60611-X)
- Wiendl, T. A., Wiendl, F. W., Franco, Suely S.H., Franco, J. G., Althur, V., & Arthur, P. B. (2013). Effects of gamma radiation in tomato seeds. *INAC: international nuclear atlantic conference*, 45, 36. Brazil.
- Yuzyk, M. A. (2022). Osoblyvosti prorostannia nasinnia *Gypsophila thyraica* Krasnova (Caryophyllaceae) vnaslidok peredposivnoi dii malykh doz γ -oprominennia [Features of seed germination *Gypsophila thyraica* Krasnova (Caryophyllaceae) due to pre-sowing action of small doses of γ -irradiation]. In *Molod i postup biolohii: zbirnyk tez dopovidei XVIII Mizhnar. nauk. konf. studentiv i aspirantiv, prysviachenoj 195-richchju vid dnia narodzhennia Yuliusa Planera [Youth and Progress of Biology: A Collection of Abstracts by XVII Intertidum. science of conf. students and graduate students, dedicated to the 195th anniversary of the birth of Julius Planer]* (pp. 5-56). Lviv: SPOLOM [in Ukrainian].
- Yuzyk, M. A., Liubinska, L. H., Optasiuk, O. M., & Hryhorchuk, I. D. (2021). Suchasni tendentsii doslidzhen vplyvu γ -vyprominiuvannia ta ultrafioletovoho vyprominiuvannia na roslyny [Modern trends in research on the effects of γ -radiation and ultraviolet radiation on plants]. *Biolohiia ta ekolohiia [Biology and ecology]*, 7, 1, 56-63. Retrieved from <https://doi.org/10.33989/2021.7.1.243446> [in Ukrainian].
- Yuzyk, M., Optasiuk, O., Bobrov, O., & Lisova, U. (2020). Analiz nasinnievoi skhozhosti *Gypsophila thyraica* Krasnova (Caryophyllaceae) pid vplyvom ultrafioletovoho vyprominiuvannia [Analysis of seed similarity of *Gypsophila thyraica* Krasnova (Caryophyllaceae) under the influence of ultraviolet radiation]. In *Pryroda Podillia: vyvchennia, problemy zberezhenia [Nature of Podillya: study, conservation problems]*:

materialy nauk.-prakt. konf., prysviachenoї 30-richchiu pryrodnoho zapovidnyka «Medobory» (pp. 352-357). Ternopil: Pidruchnyky i posibnyky [in Ukrainian].

Zaverukha, B. V. (1985). *Flora Volyno-Podolyi y ee henezys [Flora Volyno-Podolia and her genesis]*. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].

M. A. Yuzyk

Ivan Ogiyenko Kamyanets-Podilsky National University

EFFECT OF γ -IRRADIATION ON SEED GERMINATION AND GROWTH OF GYPSOPHILA THYRAICA KRASNOVA (CARYOPHYLLACEAE) SEEDLINGS

Analysis of laboratory germination and germination energy of Gypsophila thyraica Krasnova s. str. - a rare, relict, Podil endemic species. The seeds were irradiated with small doses (5, 15, 30 Gy) of gamma radiation (^{60}Co) and germinated in laboratory conditions for 14 days in two repetitions. It was established that the seeds of G. thyraica irradiated with γ -rays prevailed in terms of the rate of germination and further growth and the number of seedlings. A stimulatory effect on germination, seed germination energy and seedling development was established with γ -irradiation at doses of 15 and 30 Gy. The energy of germination in all irradiated samples is low, in the control non-irradiated version it was not determined due to the absence of germinated seeds. The analysis of morphometric indicators also showed positive dynamics: in irradiated samples, the total size of seedlings increased (by 5-6 times compared to the control sample), depressed individuals were practically absent, while in control samples growth slowed down, seeds often did not develop, even after the start of germination. In general, the results of samples 1 and 2 are similar and confirm the conclusion about the stimulating effect of low doses of γ -irradiation on seeds.

Keywords: *Gypsophila thyraica, rare species, seeds, γ -irradiation, germination energy, laboratory germination.*

Надійшла до редакції 06.07.2022