

УДК 57.042, 58.03

<https://doi.org/10.33989/2021.7.1.243446>

М.А. Юзик¹, Л.Г. Любінська², О.М. Оптасюк³, І.Д. Григорчук⁴

^{1,2,3,4} Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, м. Кам'янець-Подільський, вул. І. Огієнка, 63, 32300, Україна

¹ admirall245@gmail.com

² kvitkolub@gmail.com

³ linum@ukr.net

⁴ physioplants@gmail.com

¹ ORCID 0000-0002-7367-524X

² ORCID 0000-0001-9007-2494

³ ORCID 0000-0001-9007-2494

⁴ ORCID 0000-0002-2260-998X

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ γ-ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА РОСЛИНИ

У статті розкрито актуальні проблеми впливу γ-випромінювання та ультрафіолетового випромінювання на рослини. Наведено огляд найвагоміших наукових результатів сучасних досліджень і перспектив їх використання у різних сферах життєдіяльності людини. Показано, що в залежності від дози поглинутого випромінювання в рослині проявляються різні радіобіологічні ефекти. Вивчення адаптаційних можливостей рослин до різних за своєю природою стрес-факторів є актуальним для прогнозування стійкості функціонування екосистем при зростаючому антропогенному навантаженні в цілому і радіації зокрема.

Ключові слова: рослини; ультрафіолет; γ-випромінювання; іонізуюче, неіонізуюче випромінювання; радіобіологічні ефекти.

Вступ. Збільшення обсягів використання ядерних енергетичних пристроїв в різних сферах людської діяльності неминуче пов'язане з ризиком опромінення біологічних об'єктів іонізуючою радіацією, а також попаданням в біосферу радіоактивних речовин. Безсумнівно, ступінь даного ризику з вдосконаленням ядерної техніки зменшується, проте неодноразово трапляються аварії на атомних електростанціях, що призводить до витоку радіонуклідів, випадання радіоактивних речовин, які супроводжують випробування атомної зброї. Наведені вище випадки створили локально підвищені рівні опромінення та збільшену концентрацію радіонуклідів з групи елементів розподілу урану в природних тілах.

У результаті дії іонізуючої радіації на молекули, що входять до складу живих клітин, формуються специфічні наслідки опромінення в формі мутацій, пошкоджень хромосомного апарату клітини, порушень регуляторних процесів, аномалій багатьох фізіологічних функцій, нерідко і загибелі клітин і тканин. Очевидною є актуальність і значення радіобіологічних досліджень, які розкривають механізми дії іонізуючого випромінювання на живі клітини, багатоклітинні організми, види рослин. Дані дослідження дозволяють з'ясувати природу явищ, що призводять до формування віддалених біологічних реакцій, знаходити способи і засоби захисту організму від руйнівної дії випромінювання.

Метою нашої роботи є аналіз сучасних тенденцій дослідження впливу γ-випромінювання і УФ випромінювання на рослини.

Матеріали та методи. Проведено аналіз та узагальнення вітчизняних та зарубіжних літературних публікацій для виявлення сучасних тенденцій дослідження впливу γ-випромінювання і УФ випромінювання на рослини.

Результати та їх обговорення. Дія γ-випромінювання на речовини, що входять до складу живих істот або об'єктів характеризується тим, що енергія квантів або частинок настільки перевищує значення енергії зв'язків атомів в молекулах, що призводить до руйнування молекул. Така особливість взаємодії випромінювання з речовиною створює низку радіобіологічних ефектів.

γ -випромінювання відносять до іонізуючої радіації, але загальним для всіх типів цього випромінювання є здатність при проходженні через речовину в актах дискретної передачі енергії іонізувати і руйнувати атоми і молекули (Jan et al., 2012). Радіобіологічні реакції рослин багато в чому залежать від вихідного розподілу енергії іонізуючого випромінювання, що поглинається в ході опромінення клітин і тканин організму. Тому в радіобіологічних дослідженнях умови опромінення визначають результат експерименту. До умов опромінення відносяться тип іонізуючої радіації, доза випромінювання, потужність дози, тривалість періоду опромінення, стан об'єкта, що опромінюється в момент дії радіації, поєднання опромінення з іншими факторами фізичної або хімічної природи, наприклад дією видимого світла, підвищеної або зниженої температури, атмосфери, збагаченої або збідненої киснем і т. д. Можна опромінювати всю рослину або окремі її частини, що також характеризує умови опромінення (Гродзинский, 1989).

У природі, де рослини, як і всі інші організми, піддаються дії іонізуючого випромінювання природних радіоактивних речовин, умови опромінення відрізняються тим, що радіація проникає в рослину безперервно протягом всього її життя. Для того, щоб з'ясувати, наскільки важливим в життєдіяльності рослинного організму є опромінення від природного фону, вдаються до послаблення інтенсивності цього випромінювання до дуже малих значень шляхом екранування рослин матеріалами, що не містять радіоактивних речовин. Досліджуючи радіобіологічні реакції рослини при варіюванні умов опромінення, отримують інформацію, що дозволяє судити про механізми формування променевої патології організму. В радіобіологічних експериментах з рослинами є можливості широко урізноманітнити умови опромінення вибором належних джерел радіації і певних програм опромінення.

В останні роки визначено, що K^+ – канали плазматичної мембрани клітин кореня вищих рослин є сенсорами окисного стресу і беруть участь в адаптивних реакціях при впливі різних абіотичних стрес-факторів. В. В. Самохіна, В. А. Павлюченко в своїй роботі (Самохіна и др., 2016) представили порівняльний аналіз ростових відповідей на γ -випромінювання у рослин. Авторами було встановлено, що малі дози γ -випромінювання стимулюють зростання кореня рослин *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., в той час як високі дози пригнічують цей процес. Показано, що рослини, позбавлені функціонального калієвого каналу GORK демонструють повну відсутність стимуляції росту під дією малих доз і менш виражене пригнічення росту під дією високих доз γ -випромінювання. Отримані результати вказують на залучення K^+ – залежних реакцій в адаптивну відповідь клітин кореня вищих рослин на радіаційний стрес.

В роботі Е. В. Філіпова та ін. (Філіппов, & Троева, 2016) досліджена радіочутливість насіння 21 виду вищих судинних рослин з 10 родин. Показана таксономічна диференціація радіостійкості насіння для різних родин. Автори вказують на мінливість радіочутливості, яка обумовлена різними значеннями температури і вологості під час вегетації і дозрівання насіння в рік збору.

Для вивчення інтенсивності росту редису в залежності від дози іонізуючого випромінювання насіння, автори роботи (Дерябіна, & Баранова, 2015) використовували різні типи іонізуючого випромінювання: гамма-випромінювання, прискорені електрони і нейтрони проміжних енергій. В результаті експерименту насіння отримало дозу іонізуючого випромінювання до 2 кГр. Крім того, доведена можливість використання лінійного прискорювача електронів для передпосівного опромінення насіння.

В роботі Е. А. Трофимова, Д. В. Дементьева, А. Я. Болсуновского (2019) вивчена реакція насіння і проростків цибулі (*Allium cepa* L.) на вплив γ -випромінювання в дозах 0.1-10 Гр за такими показниками, як довжина кореня і паростка, сира і суха біомаса. У всіх випадках, в тому числі і при малих дозах γ -випромінювання призводило до пригнічення параметрів росту рослин через 6 діб після опромінення. Найбільш чутливим ростовим параметром до γ -випромінювання є довжина коренів, яка зменшувалася майже в 3 рази в порівнянні з контрольним зразком. Пошкодження, отримані проростками і насінням при опроміненні

при дозах 0.1-2.5 Гр, не були критичними, і відновлення нормального росту відбувалося через 10 діб після припинення опромінення. При поглинених дозах 2.0-2.5 Гр виявлено стимулюючу дію γ -випромінювання на ріст рослин.

Подібні результати отримані і С. А. Гераськиним (2015), які вивчали реакцію насіння ячменю сортів Нур і Грейс на вплив γ -випромінювання в дозах 2-50 Гр. Порівнювалися наступні показники: довжина кореня, довжина паростка, схожість і маса коренів. У роботі оцінено діапазон доз, в якому спостерігається стимуляція розвитку рослин. Показано, що збільшення розмірів кореня і паростка при опроміненні в стимулюючих дозах відбувається за рахунок збільшення темпів розвитку, а не більш раннього проростання. Вивчено вплив потужності дози, якості насіння, його вологості і терміну зберігання на прояв ефектів радіаційного впливу.

У роботі К. М. Лаханова, М. У. Сарсембаева (2015) автори досліджували дію різних типів опромінення на солодку уральську, а також вплив передпосівної обробки насіння ультрафіолетом і лазером на продуктивність надземної і підземної частини даної рослини. Встановлено, що іонізуюче випромінювання в стимулюючій дозі сприяє більш прискореному росту і розвитку насіння, починаючи від стану спокою до утворення проростків. Схожість насіння, що оброблялось рентгенівськими і гамма-променями, дозами 1,0 і 1,5 Гр, підвищується. Після рентгенівського опромінення вона є вищою, ніж після гамма-променів. Під дією рентгенівських і гамма-променів в дозах 1,0 і 1,5 Грей схожість насіння збільшується в середньому на 20-60% в порівнянні з контрольними зразками. У оброблених середніми дозами ультрафіолету і лазера рослин продуктивність надземної і підземної частини перевищувала контрольні зразки в 1,5-2,0 рази. Таким чином, автори роботи встановили факт стимулюючої дії різних типів опромінення на солодку.

У роботі Дейза зі співавторами Díaz et al., 2018 представлені результати досліджень впливу гамма-опромінення ^{60}Co на насіння соняшника. Опромінювання здійснювалося за наступною схемою: 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 та 900 Гр. Результати показали, що схожість і проростання зменшуються зі збільшенням випромінювання, відповідно до квадратичної моделі. Висота рослин, довжина, об'єм коренів і суха біомаса зменшувалися при високих дозах опромінення. Отже, дози 100 і 200 Гр мають стимулюючий вплив на висоту рослин і довжину коренів і є важливим агентом, здатним викликати генетичну мінливість у соняшника.

Ультрафіолетове випромінювання (УФ-випромінювання) – один із видів неіонізуючого випромінювання електромагнітного спектру з довжиною хвилі менше 400 нм. УФ радіація відіграє важливе значення в еволюції живого світу, оскільки фотони УФ володіють енергією, достатньою для поглинання їх усіма біологічно важливими структурами і для іонізації атомів. УФ-В складає 1,5 % сонячної радіації і може спричинити значні ушкодження, на відміну від безпечного для живих організмів УФ-А і небезпечного УФ-С, яке за звичайних умов не досягає поверхні Землі.

Виснаження стратосферного озонового шару техногенним забрудненням суттєво підвищує кількість УФ-В випромінювання та більш агресивніших короткохвильових променів, що надходять на земну поверхню, впливають на живі організми, пошкоджуючи їх клітинний метаболізм на основі утворення димерів у генетичному матеріалі ДНК, на порушення структури мембрани, інактивації ферментів та утворення високореактивних вільних радикалів. Підвищене опромінення УФ також спричиняє тимчасову або необоротну зміну процесу фотосинтезу.

В помірних дозах УФ випромінювання має стимулюючу дію на організм: посилює обмін речовин, викликає синтез вітаміну Д, підвищує імунітет. При збільшенні дії УФ у рослин спостерігається пошкодження ДНК, білків і мембран, порушення вторинного метаболізму, транспорту сполук, дихання, транспірації і фотосинтетичного апарату, росту, розвитку і морфогенезу. Під впливом УФ-В радіації спостерігається деструкція і інактивація вітамінів, антиоксидантів та інших біологічно активних сполук (Кузнецов, & Дмитриева, 2006).

Типовими реакціями рослин, чутливих до УФ-В випромінювання, є передусім морфолого-фізіологічні ознаки: зменшення свіжої і сухої біомаси, вмісту ліпідів; площі і розмірів листків, їх скручування, сповільнення росту рослин; зміни поверхні листків, у т.ч. епікутикулярного воску; збільшення гілкування і кількості листків; порушення кореляції між ростом надземних і підземних органів, пригніченням розвитку генеративних органів. Характер впливу УФ радіації на фізіологічні процеси залежить від довжини хвилі, інтенсивності і тривалості опромінення (Zhang, & Björn, 2009; Зеленьчукова, 2007; Кузнецов, & Дмитриева, 2006).

Важливим наслідком підвищення рівня УФ-В випромінювання є пошкодження репродуктивної функції рослин. Генеративні тканини репродуктивних органів – археспоріальна і спорогенна тканини пиляків і насінних зачатків, чоловічий і жіночий гаметофіт захищені оцвітиною, тканинами пиляка і маточки. Стінка пиляка поглинає до 98% ультрафіолетового випромінювання. Негативного впливу пилокві зерна можуть зазнати після відкриття пиляка, як у вітрозапильних, так і ентомофільних рослин.

Додаткове опромінення може пригнічувати ріст і розвиток рослин, здійснювати генотоксичні ефекти на меристему, впливати на запилення, знижувати кількість продукowanego пилку і насінневу продуктивність рослин (Кравец, Гродзинский, & Гуца, 2008). Проведено дослідження і в напрямку аналізу радіоадаптивної відповіді, починаючи від отримання дозових залежностей дії гострого гамма-опромінення і УФ-С-опромінення на проростки льону-довгунця з метою визначення адаптуючих і тестуючих доз і завершуючи вивченням власне радіоадаптивної відповіді. На прикладі специфічної і неспецифічної радіоадаптивної відповіді показано її зв'язок із гормезисною дією адаптуючих чинників і вивчено гістологічні аспекти механізму радіоадаптації. На основі отриманих результатів обґрунтовується гіпотеза про можливу роль надклітинних (зокрема, проліферативних) процесів у забезпеченні радіоадаптації (Евдокимова, Михеев, & Овсянникова, 2012).

Встановлено, що УФ випромінювання має значний вплив на формування генотипу і фенотипу високогірних рослин: сповільнення росту, поява опушення, зміна листкорозміщення, збільшення кількості суцвіть. Найбільш небезпечним для рослинного світу наслідком впливу УФ є мутагенна дія, в основі якої лежить пошкодження ДНК і як наслідок – виникнення різноманітних мутацій і навіть загибель організму. Проте в ході еволюції сформувались складні механізми захисту рослин від УФ-В променів і системи репарації пошкоджених ДНК (Кузнецов, & Дмитриева, 2006).

УФ-В випромінювання діє передусім на поверхневі шари клітин, далі воно розсіюється у тканині і поглинається великою кількістю біологічних сполук. Анатомічними пристосуваннями, які захищають рослини від УФ, є наявність кутикули, яка відбиває ультрафіолет; епідерміс і мезофіл листка, які поглинають УФ промені; зменшення як висоти рослин, так і площі поверхні її листків, потовщення листків, наявність опушення, локалізація хлорофілу у верхній частині листка, зменшення числа продихів.

Досить ефективно захищають рослину від УФ-радіації вторинні метаболіти, особливо флавоноїди (послаблюють потік УФ майже на 90 %), а також каротиноїди, алкалоїди, поліаміни. Виправлення дефектів, викликаних опроміненням, в первинній структурі ДНК здійснюється за рахунок функціонування трьох різних систем, серед яких найбільшу роль для рослин відіграє фотореактивація (Кузнецов, & Дмитриева, 2006).

Проблема різностороннього УФ впливу на рослини піднімається в роботах багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців. Так, досліджено вплив ультрафіолетового випромінювання на зростання, анатомічну будову і фізіологічні параметри рослин (Семенов, Кожушко, & Сахно, 2018; Сторожук, & Червінський, 2005). Актуальними є питання впливу УФ на морфогенез і вміст фотосинтетичних пігментів рослин. Так, на прикладі *Arabidopsis thaliana* показано вплив УФ-А випромінювання з інтенсивністю 0,35 Вт/м² на морфогенез рослин, шляхом інгібування ростових реакцій. Результатом експериментів стало подовжен-

ня етапів онтогенезу і збільшення термінів вегетації на 15 діб, що сприяє підвищенню насінневої продуктивності рослин майже вдвічі (Зеленьчукова, 2007).

В роботі О. П. Дмитрієва, С. О. Поляковського (2007) здійснено аналіз молекулярних мішеней для УФ-В радіації, цитофізіологічних реакцій рослин на опромінення, його впливу на продуктивність сільськогосподарських культур, шляхів трансдукції сигналу, індукованого УФ-В опроміненням в рослинних клітинах, впливу УФ-В на мікроорганізми та їх взаємодію з рослинами; детально охарактеризовано механізми захисту рослин від УФ-В.

Значна кількість робіт присвячена методам стимуляції вироблення і накопичення рослинами лікарських речовин (флавоноїдів, алкалоїдів, ефірних олій, вітамінів, гормонів тощо) (Stapleton, 1992); результативність впливу передпосівного УФ-опромінення на розвиток і продуктивність рослин, зараження грибовими та іншими захворюваннями (Махаббат, & Ровшан, 2011).

Обґрунтовується необхідність штучного доопромінення рослин довгохвильовим УФ випромінюванням при вирощуванні їх в умовах закритого ґрунту (Кузнецов, & Дмитрієва, 2006; Семенов, Кожушко, & Сахно, 2018). Так, ультрафіолетове випромінювання в діапазоні 300–400 нм має позитивний біологічний вплив на прискорення цвітіння та утворення зав'язі овочевих культур. За допомогою модифікації рівня ультрафіолетового впливу на рослини з'являється унікальна можливість управління ростом рослин.

Підтверджено посилення вегетативного росту, збільшення врожайності та коефіцієнту розмноження окремих сільськогосподарських культур, що може знайти практичне використання під час вирощування рослин без використання хімічних препаратів та стимуляторів росту, прискореного розмноження особливо цінних і нових сортів для первинного насінництва (Ладыгин, & Ширшикова, 1993).

Порівняльному аналізу впливу УФ-С та УФ-В випромінювань на рослинні організми присвячено роботи О. М. Міхеєва, О. М. Тихенко (2011). Автори наводять результати дослідження часових закономірностей ростових процесів гороху, вирощеного за нормальних умов та з застосуванням УФ-С- та УФ-В-опромінення стеблової частини. Виявлено дозові залежності цих опромінь за параметром швидкості росту кореня та стеблової частини проростків гороху сорту Ароніс. Розглянуто об'єкти дослідження впливу УФ-С- та УФ-В-опромінення на динаміку ростових параметрів рослин у кожній серії дослідів: зміни швидкості росту, особливості динаміки росту за різних досліджуваних умов, діапазону доз УФ-С- та УФ-В-опромінення, що стимулюють чи пригнічують ростові параметри проростків гороху. Визначено, що УФ-С-опромінення в 1,3 разів більш ефективніше, ніж УФ-В-опромінення.

Низка робіт присвячена аналізу проблем дослідження радіоадаптивної відповіді, починаючи від отримання дозових залежностей дії гамма- і УФ-С-опромінення на проростки різних рослин з метою визначення адаптивних і тестових доз і завершуючи вивченням гістологічних особливостей радіоадаптивної відповіді (Худжаназарова, & Акназаров, 2001; Piri et al., 2011).

У багатьох видів рослин розвинулися механізми захисту від шкідливих впливів УФ-випромінювання. Накопичення пігментів, що поглинають УФ-В, таких як флавоноїди, є одним із способів за допомогою яких рослини зменшують шкідливий вплив ультрафіолетового світла (Holloosy, 2002).

Механізми, за допомогою яких рослини можуть захистити себе від УФ-випромінювання представляють особливий інтерес і є перспективним напрямком сучасних досліджень.

Нами проведено низку досліджень впливу УФ-випромінювання на пилок та насіння рідкісних і типових видів (Оптасюк та ін., 2017; Юзик, Оптасюк О., & Оптасюк С. 2019; Юзик та ін., 2020а; Юзик та ін., 2020b). Зокрема, досліджувалися схожість, енергія проростання і ріст насіння виду, який уключений у Червону книгу України (2009), *Gypsophila thuraica* Krasnova. При короткочасному опроміненні ультрафіолетом протягом 10-20 хв. (Юзик та ін., 2020b) встановлено стимулюючу дію на вказані показники. Отже, перспективним є

проведення такого впливу для первинної інтродукції та подальшої репатріації ендемічного виду, який знаходиться під загрозою існування популяції.

Одна із проблем сучасності – це інвазійні види, які впливають на природну флору, популяції рідкісних видів, спричиняють витіснення аборигенних видів. Нами проаналізовано вплив іонізуючого випромінювання на фертильність пилкових зерен модельних представників алохтонної фракції спонтанної флори (*Helianthus tuberosus* L., *Symphotrichum novae-angliae* (L.) Nesom, *Eschscholzia californica* Cham.), що дало можливість спрогнозувати їх радіочутливість та радіостійкість (Оптасюк та ін., 2017; Юзик та ін., 2020a). Перспективним є використання отриманих результатів для впливу на стан інвазійних видів і призупинення їх активного відтворення.

Висновки. Сучасні тенденції досліджень впливу γ -випромінювання та ультрафіолетового випромінювання на рослини мають різнобічне використання і впровадження в сільсько-господарстві та охороні природи. Науковці, вивчаючи позитивні та негативні впливи цих променів сприяють розробці нових напрямків підвищення фертильності пилку, енергії проростання і життєздатності насіння. Важливим для подальших досліджень є вивчення реакцій рослин на вплив іонізуючого випромінювання та можливість використовувати такі результати для прогнозування стійкості функціонування екосистем при зростаючому антропогенному навантаженні в цілому і радіації зокрема.

Список використаної літератури:

- Аналіз насінневої схожості *Gypsophila thyratica* Krasnova (*Caryophyllaceae*) під впливом ультрафіолетового випромінювання / М. Юзик та ін. *Природа Поділля: вивчення, проблеми збереження* : матеріали наук.-практ. конф., присвяченої 30-річчю природного заповідника «Медобори», м. Гримайлів, 20–21 серпня 2020 р. / ред. Г. Олеяр. Тернопіль : Підручники і посібники, 2020a. С. 352–357.
- Влияние гамма-излучения Cs-137 на рост корней растений *Arabidopsis thaliana* (L.) Heunh. дикого типа и линий, лишенных функционального калиевого канала gork / В. А. Самохина и др. *Вестник БГУ. Серия 2 : Химия. Биология. География*. 2016. № 1. С. 36–40.
- Вплив іонізуючого випромінювання на фертильність пилкових зерен рослин / С. В. Оптасюк та ін. *Вісник Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія Екологія*. 2017. Вип. 2. С. 159–171.
- Гераськин С. А., Чурюкин Р. С., Казакова Е. А. Модификация развития ячменя на ранних этапах онтогенеза при воздействии γ -излучения на семена. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2015. Т. 55, № 6. С. 607–615.
- Гродзинский Д. М. Радиобиология растений. Киев : Наук. думка, 1989. 384 с.
- Данильченко О. А. Власов В. Н. Значение ультрафиолетового излучения в жизнедеятельности растений. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2002. Т. 34, № 3. С. 187–197.
- Дерябина Д. М., Баранова А. А. Исследование интенсивности роста редиса в зависимости от полученной дозы ионизирующего излучения. *Физика. Технологии. Инновации* / ред. В. Н. Рычков. Екатеринбург, 2015. Т. 1. С. 59–65.
- Дмитрієв О. П., Поляковський С. О. УФ-радіація і рослини. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія Біологія*. 2007. Вип. 1 (10). С. 7–23.
- Евдокимова С. А., Михеев А. Н., Овсянникова Л. Г. Адаптивный ответ проростков льна-долгунца на действие острого гамма- и УФ-С-облучения. *Ядерная физика та енергетика*. 2012. Т. 13, № 2. С. 166–174. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/yadf_2012_13_2_10
- Зеленьчукова Н. С. Влияние Уф-А излучения и синего света низкой интенсивности на морфогенез и содержание фотосинтетических пигментов растений : автореф. дис. ... канд. биолог. наук. Барнаул, 2007. 20 с.
- Кравец Е. А., Гродзинский Д. М., Гуца Н. И. Влияние Уф-Б облучения на репродуктивную функцию растений *Hordeum vulgare* L. *Цитология и генетика*. 2008. Т. 42, № 5. С. 9–16.
- Кузнецов В. В., Дмитриева Г. А. Физиология растений. Москва : Высш. шк., 2006. 742 с.
- Ладыгин В. Г., Ширшикова Г. Н. Влияние состава каротиноидов на устойчивость клеток водорослей к действию Уф-облучения. *Физиология растений*. 1993. Т. 40, № 4. С. 644–649.
- Лаханова К. М., Сарсембаева М. У. Действие различных доз рентгеновских и гамма-лучей на солодку уральскую. *Успехи современного естествознания*. 2015. № 6. С. 119–122.
- Махаббат Н. Г., Ровшан М. А. Синергетические факторы, влияющие на стимуляцию роста и функциональную активность клеток *Dunaliella* при действии хронически малых доз Уф-радиации. *Проблемы и тенденции развития современного общества* : IX междунар. науч.-практ. конф., 14–19 сентября, 2011. Киев, 2011. С. 49–51.
- Міхеев О. М., Тихенко О. М. Порівняльний аналіз впливу Уф-С та Уф-В випромінювання на рослинні об'єкти. *Вісник НАУ*. 2011. № 4. С. 163–166.
- Оцінка якості пилку раритетного виду *Gypsophila thyratica* Krasnova (*Caryophyllaceae*) під впливом Уф-В випромінювання / М. А. Юзик та ін. *Сучасні проблеми урбоекосистем* : зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф., 1–2 жовтня 2020 р., м. Кам'янець-Подільський / за заг. ред. О. І. Любинського. Кам'янець-Подільський : Рута, 2020b. С. 69–72.
- Семенов А. О., Кожушко Г. М., Сахно Т. В. Вплив передпосадкового Уф-опромінення на розвиток і продуктивність картоплі. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 1. С. 18–22. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk.2018.01.02>
- Сторожук Л. А., Червінський Л. С. Щодо питання впливу ультрафіолетового випромінювання на зростання і фізіологічні параметри рослин. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 13, т. 4. С. 210–215. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptdau_2013_13_4_30
- Трофимова Е. А., Демет'єв Д. В., Болсуновский А. Я. Влияние γ -излучения на развитие растений из облученных семян и проростков *Allium sera* L. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2019. Т. 59, № 3. С. 293–299.

- Филиппов Э. В., Троева Е. И. Радиочувствительность семян растений Центральной Якутии к острому гамма-облучению. *Растительный мир Азиатской России*. 2016. № 3 (23). С. 75–80.
- Худжаназарова Г. С., Акназаров О. А. Влияние УФ-радиации на анатомическое строение листьев растений моркови. *Тезы докладов 4 съезда ОФРР*. Москва, 2001. Т. 2. С. 489.
- Юзык М. А., Оптасюк О. М., Оптасюк С. В. Вплив ультрафіолетового випромінювання на рослини: сучасний стан та перспективи досліджень. *Подільські читання. Екологія, охорона довкілля, збереження біотичного та ландшафтного різноманіття: наука, освіта, практика* / зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф., 10–12 жовтня 2019 р., м. Хмельницький / ред. Г. А. Білецька. Хмельницький : ХНУ, 2019. С. 206–208.
- Effect of gamma radiation of ^{60}Co on sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) (Asteraceae), from irradiated achenes. *Scientia Agropecuaria*. 2018. Vol. 9 (3). P. 313–317. URL: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000300002&lng=pt&nrm=iso&tlng=en
- Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products / S. Jan et al. *Environmental Reviews*. 2012. Vol. 20 (1). P. 17–39.
- Effects of UV irradiation on plants. *African Journal of Microbiology Research*. 2011. Vol. 5 (14). P. 1710–1716.
- Hollosy F. Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron*. 2002. Vol. 33. P. 179–197.
- Stapleton A. E. Ultraviolet radiation and plants: burning questions. *The Plant Cell*. 1992. Vol. 4. P. 1353–1358.
- Zhang W. J., Björn L. O. The effect of ultraviolet radiation on the accumulation of medicinal compounds in plants. *Fitoterapia*. 2009. Vol. 8 (4). P. 1–12.
- Zuk-Golaszewska K., Upadhyaya M. K., Golaszewski J. The effect of UV-B radiation on plant growth and development. *Plant soil environ*. 2003. Vol. 49 (3). P. 135–140.

M.A. Yuzyk, L.G. Lyubinska, O.M. Optasyuk, I.D. Hrygorchuk

Ivan Ogiyenko Kamyanskyi-Podilsky National University

CURRENT TRENDS IN RESEARCH OF INFLUENCE OF γ -RADIATION AND ULTRAVIOLETE RADIATION ON PLANTS

The article reveals the current problems of the influence of γ -radiation and ultraviolet radiation on plants. An overview of the most important scientific results of modern research and prospects for their use in various spheres of human life. It is shown that depending on the dose of absorbed radiation in plants, different radiobiological effects are manifested. The study of the adaptive capacity of plants to different stressors is relevant for predicting the sustainability of ecosystems with increasing anthropogenic load in general and radiation in particular.

Key words: plants; ultraviolet light; γ -radiation; ionizing, non-ionizing radiation; radiobiological effects.

References

- Daniľchenko, O. A., & Vlasov, V. N. (2002). Znachenie ul'traioletovogo izluchenija v zhiznedejatel'nosti rastenij [The value of ultraviolet radiation in the life of plants]. *Plant physiology and genetics*, 34(3), 187-197 [in Russian].
- Derjabina, D. M., & Baranova, A. A. (2015). Issledovanie intensivnosti rosta redisa v zavisimosti ot poluchenoj dozy ionizirujushhego izluchenija [Investigation of the growth rate of radish depending on the received dose of ionizing radiation]. In V. N. Rychkov (Ed.), *Fizika. Tehnologii. Innovacii [Physics. Technology. Innovations]* (Vol. 1, pp.59-65). Ekaterinburg [in Russian].
- Díaz, L. E., García, S. A. L., Morales, R. A., Báez, R. I., Pérez, V. E., Olivar, H. A., ... & Loeza, C. J. M. (2018). Effect of gamma radiation of ^{60}Co on sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) (Asteraceae), from irradiated achenes. *Scientia Agropecuaria*, 9(3), 313-317. Retrived from http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000300002&lng=pt&nrm=iso&tlng=en
- Dmytriiev, O. P., & Poliakovskiy, S. O. (2007). UF-radiatsiia i roslyny [UV-B radiation and plants]. *The bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology*, 1(10), 7-23 [in Ukrainian].
- Evdokimova, S. A., Mikheev, A. N., & Ovsianikova, L. G. (2012). Adaptivnyi otvet prorostkov lna-dolguntca na deistvie ostrogo gamma- i UF-S-oblucheniia [Adaptation of long-stalk flax seedlings to acute action of gamma- and UV-radiation]. *Nuclear physics and atomic energy*, 13(2), 166-174. Retrived from http://nbuv.gov.ua/UJRN/yadf_2012_13_2_10 [in Russian].
- Filippov, E. V., & Troeva, E. I. (2016). Radiochuvstvitel'nost semian rastenij tsentralnoi iakutii k ostromu gamma-oblucheniuiu [Radiosensitivity of plant seeds to acute gamma irradiation in Central Yakutia]. *Rastitel'nyj mir Aziatskoj Rossii*, 3(23), 75-80 [in Russian].
- Geras'kin, S. A., Churjukin, R. S., & Kazakova, E. A. (2015). Modifikacija razvitiia jachmenja na rannih jetapah ontogeneza pri vozdeystvii γ -izluchenija na semena [Modification of Barley Development at Early Stages after Exposure of Seeds to γ -Irradiation]. *Radiation biology. Radioecology*, 55(6), 607-615 [in Russian].
- Grodzinskij, D. M. (1989). *Radiobiologija rastenij [Plant radiobiology]*. Kiev: Nauk. dumka [in Russian].
- Hollosy, F. (2002). Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron*, 33, 179-197.
- Jan, S., Parween, T., Siddiqi, T. & Mahmooduzzafar. (2012). Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. *Environmental Reviews*, 20(1), 17-39.
- Khudzhazarova, G. S., & Aknazarov, O. A. (2001). Vliianie UF-radiacii na anatomicheskoe stroenie listev rastenii morkovi [Influence of UV radiation on the anatomical structure of the leaves of carrot plants]. In *Tezy dokladov 4 sezda OFRR [Abstracts of the 4th Congress of the OFRR]* (Vol.2, pp. 489). Moskva [in Russian].
- Kravets, E. A., Grodzinskij, D. M., & Gushcha, N. I. (2008). Vliianie UF-B oblucheniia na reproduktivnuiu funktsiiu rastenii Hordeum vulgare L [The influence of UV-B radiation on reproductive function of Hordeum vulgare L. plants]. *Cytology and Genetics*, 42(5), 9-16 [in Russian].
- Kuznetsov, V. V., & Dmitrieva, G. A. (2006). *Fiziologija rastenii [Plant physiology]*. Moskva: Vyssh. shk. [in Russian].

- Ladygin, V. G., & Shirshikova, G. N. (1993). Vliianie sostava karotinoidov na ustoichivost kletok vodoroslei k deistviuu UF-oblucheniia [The influence of the composition of carotenoids on the resistance of algal cells to UV radiation]. *Plant physiology*, 40(4), 644-649 [in Russian].
- Lakhanova, K. M., & Sarsembaeva, M. U. (2015). Deistvie razlichnykh doz rentgenovskikh i gamma-luchei na solodku uralskuiu [The effect of different doses of x-rays and gamma rays on the ural licorice]. *Advances in current natural sciences*, 6, 119-122 [in Russian].
- Makhabbat, N. G., & Rovshan, M. A. (2011). Sinergeticheskie faktory vliiaushchie na stimuliatciiu rosta i funktsionalnuuu aktivnost kletok Dunaliella pri deistvii khronicheskii malykh doz UF-radiatcii [Synergetic factors affecting growth stimulation and functional activity of Dunaliella cells under the action of chronically low doses of UV radiation]. In *Problemy i tendentsii razvitiia sovremennogo obshchestva [Problems and trends in the development of modern society] : Proceeding of IX international scientific-practical Conf., September 14-19, 2011* (pp. 49-51). Kiev [in Russian].
- Mikhieiev, O. M., & Tykhenko, O. M. (2011). Porivnialnyi analiz vplyvu UF-S ta UF-V vyprominiuvannia na roslynni ob'iekty [Comparative analysis of the effects of UV-C and UV-B radiation on plant objects]. *Bulletin of the National Aviation University*, 4, 163-166 [in Ukrainian].
- Optasiuk, S. V., Optasiuk, O. M., Hryhorchuk, I. D., & Savalaha, Kh. V. (2017). Vplyv ionizuiuchoho vyprominiuvannia na fertylnist pylkovykh zeren roslyn [Influence of radiation on fertility of the pollen of plants]. *Visnyk of Kamianets-Podilsky Ivan Ohienko National University. Seria: Ecology*, 2, 159-171 [in Ukrainian].
- Piri, E., Babaeian, M., Tavassoli, A., & Esmaeilian, Y. (2011). Effects of UV irradiation on plants. *African Journal of Microbiology Research*, 5(14), 1710-1716.
- Samohina, V. A., Pavljuchenko, V. S., Mackevich, M. A., Makovickaja, T. I., Milevich, A. I., & Sokolik, V. V. (2016). Vliianie gamma-izlucheniia Ss-137 na rost kornej rastenij Arabidopsis thaliana (L.) Heynh. dikogo tipa i linij, lishennykh funktsional'nogo kalievogo kanala gork [Effect of Gamma-Irradiation Cs-137 on Root Growth of Arabidopsis thaliana (L.) Heynh. in Wild Type and Lines Deficient in Functioning Potassium Channel GORK]. *Journal of the Belarusian State University. Chemistry, Biology. Geography*, 1, 36-40 [in Russian].
- Semenov, A. O., Kozhushko, H. M., & Sakhno, T. V. (2018). Vplyv peredposadkovoho UF-oprominennia na rozvytok i produktyvnist kartopli [Effects of preventive uv-inflammation on the development and productivity of potatoes]. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 18-22 [in Ukrainian]. doi: <https://doi.org/10.31210/visnyk.2018.01.02>
- Stapleton, A. E. (1992). Ultraviolet radiation and plants: burning questions. *The Plant Cell*, 4, 1353-1358.
- Storozhuk, L. A., & Chervinskyi, L. S. (2013). Shchodo pytannia vplyvu ultrafioletovoho vyprominennia na zrostannia i fiziologichni parametry Roslyn [On the issue of ultraviolet radiation on the growth and physiological parameters plants]. *Proceedings of the Tavriya State Agrotechnological University*, 13(4), 210-215 [in Ukrainian].
- Trofimova, E. A., Dementev, D. V., & Bolsunovskii, A. Ia. (2019). Vliianie γ -izlucheniia na razvitie rastenii iz obluchennykh semian i prorostkov Allium cepa L. [The effect of γ -rays on the development of plants from irradiated seeds and seedlings of Allium cepa L.]. *Radiation biology. Radioecology*, 59(3), 293-299 [in Russian].
- Yuzyk, M. A., Optasiuk, O. M., & Optasiuk, S. V. (2019). Vplyv ultrafioletovoho vyprominiuvannia na roslyny: suchasnyi stan ta perspektyvy doslidzhen [Influence of ultraviolet radiation on plants: current state and research prospects]. In H. A. Biletska (Ed.), *Podilski chytannia. Ekolohiia, okhorona dovkilia, zberezhenia biotychnoho ta landshaftnoho riznomanittia: nauka, osvita, praktyka [Podolsk readings. Ecology, environmental protection, conservation of biotic and landscape diversity: science, education, practice] : Proceedings of the International. scientific-practical conference, October 10-12, 2019, Khmelnytsky* (pp. 206-208). Khmelnytsky: KhNU [in Ukrainian].
- Yuzyk, M. A., Optasiuk, O. M., Bobrov, O., V., & Lisova, U. I. (2020b). Otsinka yakosti pylku rarytethnoho vydu Gypsophila thyracea Krasnova (Caryophyllaceae) pid vplyvom UF-V vyprominiuvannia [Evaluation of pollen quality of a rare species Gypsophila thyracea Krasnova (Caryophyllaceae) under the influence of UV-B radiation]. In O. I. Liubynskoho (Ed.), *Suchasni problemy urboekosystem [Modern problems of urban ecosystems] : Proceeding of the International. scientific-practical conference, October 1-2, 2020, Kamianets-Podilsky* (pp. 69-72). Kamianets-Podilsky: Ruta [in Ukrainian].
- Yuzyk, M., Optasiuk, O., Bobrov, O., & Lisova, U. (2020a). Analiz nasinnievoi skhozhosti Gypsophila thyracea Krasnova (Caryophyllaceae) pid vplyvom ultrafioletovoho vyprominiuvannia [Seed germination analysis Gypsophila thyracea Krasnova (Caryophyllaceae) under the influence of ultraviolet radiation]. In H. Oleiar (Ed.), *Pryroda Podillia: vyvchennia, problemy zberezhenia [The nature of podillia: exploration and problems of preservation] : Proceeding Conference, September 20-21* (pp. 352-357). Ternopil: Pidruchnyky i posibnyky [in Ukrainian].
- Zelenchukova, N. S. (2007). Vliianie Uf-A izlucheniia i sinego sveta nizkoi intensivnosti na morfogenez i sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov rastenii [The influence of UV-A radiation and low intensity blue light on morphogenesis and content of photosynthetic pigments in plants]. (Extended abstract of Biology dissertation). Barnaul [in Russian].
- Zhang, W. J., & Björn, L. O. (2009). The effect of ultraviolet radiation on the accumulation of medicinal compounds in plants. *Fitoterapia*, 8(4), 1-12.
- Zuk-Golaszewska, K., Upadhyaya, M. K., & Golaszewski, J. (2003). The effect of UV-B radiation on plant growth and development. *Plant soil environ*, 49(3), 135-140.

Отримано 10.05.2021