




**original article** | UDC 621.237 | doi: 10.31210/visnyk2021.04.05**INFLUENCE OF UV RADIATION ON BIOLOGICAL PROPERTIES AND WATER ABSORPTION DURING PRE-SOWING IRRADIATION OF WINTER RAPESEEDS**A. O. Semenov^{1*}T. V. Sakhno^{1,2}N. V. Semenova³V. V. Liashenko²ORCID  [0000-0003-3184-6925](https://orcid.org/0000-0003-3184-6925)ORCID  [0000-0001-7049-4657](https://orcid.org/0000-0001-7049-4657)ORCID  [0000-0003-4495-7712](https://orcid.org/0000-0003-4495-7712)ORCID  [0000-0003-0177-6209](https://orcid.org/0000-0003-0177-6209)¹ Poltava University of Economics and Trade, 3, Kovalia str., Poltava, 36003, Ukraine² Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine³ Poltava Academy of Sciences of Technological Cybernetics of Ukraine, 3, Kovalia str., Poltava, 36003, Ukraine

*Corresponding author

E-mail: asemen2015@gmail.com

How to Cite

Semenov, A. O., Sakhno, T. V., Semenova, N. V., & Liashenko, V. V. (2021). Influence of UV radiation on biological properties and water absorption during pre-sowing irradiation of winter rapeseeds. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (4), 44–52. doi: 10.31210/visnyk2021.04.05

At present, the studies of physiological and biochemical processes affecting seed germination, plant growth and their resistance to abiotic stresses are becoming topical. This stipulates the necessity of improving seed sowing qualities by improving the techniques of pre-sowing seed treatment using physical methods among which pre-sowing crop seed treatment with ultra-violet irradiation is considered the most effective. Owing to the impact of UV irradiation energy, metabolic processes between the cell and the environment are activated, ensuring quicker access of water and nutrients to the germ strengthening breathing and growth processes and creating favorable conditions for further plant growth and development. The influence of UV radiation of C region (200–280 nm) of Sherpa winter variety rapeseeds in pre-sowing treatment was investigated. In the work, the treatment was conducted with ZW20D15W ultra-violet lamps applying the following doses: 50, 120, 250, 500, 1000 and 3000 J/m². Measuring UV-irradiation doses was made by “Tensor-31” radiometer produced at the scientific and production enterprise “Tensor”, Ukraine. It has been found that UV radiation has a positive effect on the sowing qualities of rapeseed when irradiated with doses of 120 J/m²: the germinating energy increased by 15 %, and the germinating capacity – by 11% as compared with the control samples. At irradiation doses of 250, 500, 1,000 and 3,000 J/m², the decrease in the seeds sowing qualities is observed. The main parameters of hydration kinetic values were determined: moisture content and hydration rate. The study results have shown that hydro-priming increases the kinetics of water absorption, moreover, the rate of hydration increased sharply in the initial phase and gradually and slowly decreased in the middle and final phases of the hydration procedure. UV-irradiated seeds at a dose of 120 J/m² showed faster penetration of water into the seeds and more effective tissue hydration, positively affecting the sowing qualities and biometrics in comparison with higher doses. It has been suggested that UV irradiation of rapeseeds in pre-sowing treatment can reduce excessive imbibition damage, since the germination potential decreases.

Key words: UV-C irradiation, winter rapeseeds, germinating energy and germinating capacity, hydro-priming, imbibition damage.

ВПЛИВ УФ-ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ВОДОПОГЛИНАННЯ ПРИ ПЕРЕДПОСІВНОМУ ОПРОМІНЕННІ НАСІННЯ РІПАКУ ОЗИМОГО

А. О. Семенов¹, Т. В. Сахно^{1,2}, Н. В. Семенова³, В. В. Ляшенко²

¹ Полтавський університет економіки і торгівлі, м. Полтава, Україна

² Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

³ Полтавська академія наук технологічної кібернетики України, м. Полтава, Україна

На сьогодні набуває актуальності вивчення фізіологічних і біохімічних процесів, які відповідальні за вплив на проростання насіння, ріст рослин і їх стійкість до абіотичних стресів. Це обумовлює необхідність поліпшення посівних якостей насіння шляхом удосконалення прийомів передпосівної обробки насіння з використанням фізичних методів, серед яких перевага надається передпосівній обробці насіння сільськогосподарських культур ультрафіолетовим випромінюванням. Завдяки впливу енергії ультрафіолетового випромінювання активізуються обмінні процеси між клітиною й навколишнім середовищем, забезпечуючи більш швидкий доступ води та поживних речовин до зародка, підсилюючи дихання та ростові процеси, створюючи сприятливі умови для подальшого росту і розвитку рослин. У статті досліджено вплив УФ-випромінювання області С (200–280 нм) у передпосівній обробці насіння ріпаку озимого сорту Шерпа. В роботі опромінювання здійснювалося ультрафіолетовими лампами ZW20D15W з такими дозами: 50, 120, 250, 500, 1000 і 3000 Дж/м². Вимірювання доз УФ-опромінювання здійснювали за допомогою радіометра «Тензор-31», виробництва НПФ «Тензор» Україна. Встановлено, що УФ-випромінювання позитивно впливає на посівні якості ріпаку при опроміненні дозами 120 Дж/м²: енергія проростання зросла на 15 %, а схожість – на 11 % порівняно з контрольними зразками. При дозах опромінювання 250, 500, 1000 та 3000 Дж/м² спостерігається зниження посівних якостей насіння ріпаку. Були визначені основні параметри кінетичних величин гідратації: вміст вологи та швидкість гідратації. Результати дослідження показали, що гідропраймінг збільшує кінетику поглинання води, причому швидкість гідратації різко зростала в початковій фазі та поступово і повільно знижувалася в середній та завершальній фазах процедури гідратації. УФ-опромінене насіння при дозах 120 Дж/м² показало більш швидке проникнення води в насіння і більш ефективну гідратацію тканин, позитивно впливаючи на посівні якості та біометричні показники порівняно з більш високими дозами опромінювання. Зроблено припущення, що УФ-опромінення в передпосівній обробці насіння ріпаку здатне зменшити надмірне імбібіційне пошкодження, оскільки потенціал проростання зменшується.

Ключові слова: *УФ-С опромінення, ріпак озимий, енергія та схожість проростання, гідропраймінг, імбібіційне пошкодження.*

Вступ

Одним з ефективних способів підвищення врожайності та якості посівного матеріалу є вплив на насіння культур різними методами праймінгу [1], що застосовуються для поліпшення параметрів проростання насіння та розвитку рослин [2].

Створення високопродуктивних сортів ріпаку озимого дало поштовх до збільшення його виробництва, що призвело до розробки нових і вдосконалення існуючих технологій вирощування продукції високої якості з меншими витратами, що робить її конкурентоспроможною [3].

Відомо, що приплив води до насіння є важливою умовою для початку процесу проростання. Таким чином, поліпшені параметри проростання і зростання можуть бути результатом поліпшеного водопоглинання [4]. Переважною особливістю гідропраймінгу є посилений ріст проростків, який корелює з підвищеним водопоглинанням насіння [5].

Незважаючи на численні дослідження і прогрес, досягнутий останніми роками в розумінні механізмів, що полягають в основі ґрунтування насіння, загальне розуміння фізіологічних і біохімічних процесів, відповідальних за вплив на проростання, ріст рослин і стійкість до абіотичних стресів, залишається все ще недостатньо вивченим.

Для розв'язання цієї проблеми з метою поліпшення посівних якостей насіння вчені та фахівці сільськогосподарства постійно вдосконалюють прийоми передпосівної обробки насіння з використанням фізичних методів [6, 7]. Перевага серед цих методів надається оптичному

випромінюванню – передпосівна обробка насіння сільськогосподарських культур ультрафіолетовим випромінюванням [8, 9]. Під дією енергії ультрафіолетового випромінювання змінюється електричний стан молекул речовини, зокрема молекул клітинних мембран та біоколідів. Це сприяє активації обмінних процесів між клітиною й оточуючим середовищем, що актуально для насіння в момент їхнього проростання, оскільки в цьому разі забезпечується більш швидкий доступ води та поживних речовин до зародка, підсилюється дихання та ростові процеси, що створює сприятливі умови для подальшого росту і розвитку рослин [2].

Наприклад, у роботі [10] насіння арахісу і бобів мунг обробляли ультрафіолетовим випромінюванням протягом 0, 5, 10, 15, 20, 30 і 60 хвилин, що покращувало параметри росту. Значне збільшення схожості бобів мунг спостерігалось при обробці насіння протягом 30 хвилин. Проте максимальна довжина сходів, маса пагонів і маса коренів спостерігалися при обробці насіння бобів мунг УФ-С протягом 15 хвилин, тоді як маса коренів збільшувалася, коли насіння бобів мунг обробляли УФ-С протягом 30 хвилин (площа листя і кількість бульб були максимальними, коли насіння бобів мунг обробляли УФ-С протягом 10 і 30 хвилин відповідно. Автори роботи [11] встановили, що обробка ультрафіолетовим випромінюванням сприяла збільшенню довжини пагонів і маси рослин гороху.

Опромінення сільськогосподарських рослин УФ-С випромінюванням ефективно для поліпшення їх параметрів зростання і зменшення ураження хворобами [12], що впливають на інтенсивність біологічного розвитку. Тому передбачається, що опромінення сільськогосподарських рослин УФ-С випромінюванням ефективно для поліпшення параметрів зростання і зменшення зараженості хворобами. У низці робіт відзначається, що ультрафіолетове випромінювання смертельно для бактерій, вірусів, спор цвілі, дріжджів і водоростей, але дози, необхідні для інактивації мікробних спор, значно відрізняються [13].

Як показав аналіз літературних джерел [8, 10–13], автори не завжди наводять інформацію щодо параметрів проведення експерименту. Проте встановлено, що при передпосівному УФ-опромінюванні насіння величина енергії, спектральний склад, час обробки є різними для кожної культури, тому вибір режиму опромінення вимагає детального дослідження та диференційованого підходу.

Мета дослідження: оцінити вплив ультрафіолетового випромінювання різними дозами (0, 50, 120, 250, 500, 1000 та 3000 Дж/м²) на біологічні властивості та водопоглинання в передпосівній обробці насіння ріпаку озимого.

Завдання дослідження: визначити та проаналізувати вплив обробки насіння ріпаку озимого сорту Шерпа УФ-випромінювання області С (200–280 нм) різними дозами 0, 50, 120, 250, 500, 1000 та 3000 Дж/м²; визначити залежність водопоглинання від часу тими ж дозами опромінення; дослідити залежність зміни швидкості гідратації залежно від часу гідратації при зазначених дозах опромінення.

Матеріали і методи досліджень

Дослідження проводили з насінням ріпаку озимого сорту Шерпа врожаю 2020 року.

У роботі використані ультрафіолетові лампи ZW20D15W зі спектром випромінювання в області С (200–280 нм) [14, 15]. Опромінювання здійснювали такими дозами: 50, 120, 250, 500, 1000 і 3000 Дж/м². Вимірювання доз УФ-опромінення здійснювали за допомогою радіометра «Тензор-31» виробництва НПФ «Тензор» Україна.

Схожість насіння контрольних (без опромінення) та опромінених зразків визначали шляхом пророщування 4 проб по 50 насінин у чашках Петрі на зволоженому фільтрувальному папері згідно зі стандартом ISTA [16].

Для визначення вмісту води (гідратації) зразки насіння ріпаку в кількості $10 \pm 0,5$ г замочували у 200 мл дистильованої води при кожному значенні дози УФ-опромінення. Замочені зразки виймали з води з інтервалом у півгодини та година. Зразки поміщали на адсорбуючий папір для усунення зайвої води, а потім зважували за допомогою прецизійних електронних ваг TM Radwag, моделі WLC 0,2 з точністю 0,001 г. Відповідно, вміст води МС та швидкість гідратації HR розраховували, виходячи з наступних рівнянь [17]:

$$MC = \left(\frac{W_f - W_i}{W_i} \right) \times 100\% \quad (1)$$

$$HR = \frac{MC_{(t+\Delta t)} - MC_{(t)}}{\Delta t}, \quad (2)$$

де MC – вміст вологи (%), W_f – маса вологого зерна рапса (г), W_i – початкова маса зерна рапса (г); Δt – проміжок часу; $MC_{(t)}$ – вміст вологи в момент часу t (г), $MC_{(t+\Delta t)}$ – вміст вологи за проміжок часу $(t+\Delta t)$ (г).

При кожному значенні дози УФ-опромінювання проводили процедуру гідратації, яка тривала 12 год. На цьому етапі визначали зміну ваги і відповідно вміст насиченої вологи у зразку. З метою зменшення похибки вимірювання показників гідратації дослідження проводили у триразовому повторенні.

Результати досліджень та їх обговорення

Проведені дослідження впливу ультрафіолетового випромінювання області С (200–280 нм) на насіння ріпаку сорту Шерпа різними дозами 0, 50, 120, 250, 500, 1000 та 3000 Дж/м². Після обробки насіння ріпаку різними дозами були відзначені позитивні зміни: збільшення енергії проростання, схожості та маси проростків. Результати дослідження наведені в табл. 1.

1. Вплив УФ-випромінювання на посівні якості насіння озимого ріпаку

Доза опромінення, Дж/м ²	Енергія проростання, %	Схожість, %	Маса проростків на 7-й день, г
Контроль	70,0	85,0	1,67
50	75,7	86,1	1,76
120	80,8	94,4	1,92
250	77,3	82,2	1,62
500	69,8	73,1	1,53
1000	66,1	69,4	1,44
3000	57,0	63,2	1,36

Низькі дози (50 Дж/м²) малоефективні та не виявляли значного впливу на енергію проростання та схожість насіння ріпаку озимого [14]. При дозі опромінювання 120 Дж/м² отримані такі результати: енергія проростання зростала на 15 % порівняно з контрольними зразками, схожість – у середньому на 11 %. При дозах 250 та 500 Дж/м² спостерігається зниження посівних якостей насіння ріпаку. При більш високих дозах УФ-опромінення 1000 Дж/м² і 3000 Дж/м² енергія проростання та схожість зменшилася в середньому на 20±2 % порівняно з контрольними зразками.

Більшість авторів вплив передпосівної обробки насіння сільгоспкультур визначають за біологічними властивостями під час проростання, росту та досліджують гідратаційні характеристики, що впливають на біологічні показники продукції [19].

Як правило, для вивчення кінетики гідратації використовують різні математичні моделі [18]. Наприклад, у роботі [20] показана можливість використання нейронних моделей для прогнозування врожайності озимого ріпаку на практиці на основі кількісних і якісних даних.

Оскільки вода відіграє вирішальну роль у проростанні, однією з цілей цього дослідження було вивчити взаємозв'язок біологічних властивостей опроміненого насіння ріпаку з гідратаційними характеристиками насіння під час проростання.

Для встановлення закономірностей залежності водопоглинання проаналізуємо основні залежності кінетичних величин гідратації насіння ріпаку залежно від дози УФ-опромінювання.

На рис. 1. представлена кінетика поглинання води УФ-С опроміненим та контрольним насінням залежно від часу при різних дозах опромінення.

Вміст вологи збільшується зі збільшенням часу гідратації. Також було виявлено, що водопоглинання з часом зменшується зі збільшенням часу гідратації та дози опромінення. Швидкість гідратації різко зростала в початковій фазі та поступово і повільно зменшувалась у середній та завершальній фазах процедури гідратації, поки не досягнула вмісту насиченої вологи.

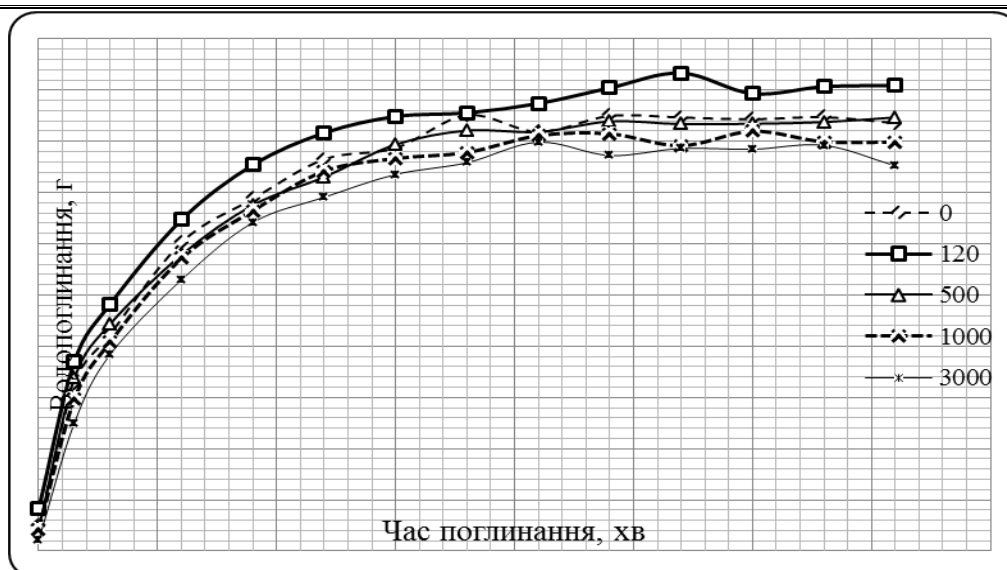


Рис. 1. Залежність водопоглинання від часу при дозах опромінення: 0 – без опромінення; 120, 500, 1000 і 3000 Дж/м²

Гідратація насіння була найбільш швидкою в перші дві години набухання і почала помітно сповільнюватися після 6-ї години як для контрольного, так і для УФ-С опроміненого насіння. Проте УФ-С опромінене насіння при дозі 120 Дж/м² показало більш високу швидкість поглинання води, ніж контрольне, як на ранніх, так і на більш пізніх етапах. Для опроміненого (грунтованого) насіння при дозах 120 Дж/м² кількість води, що адсорбувала через 1 годину та 10 годин просочування, була вищою порівняно з неопроміненним на 4,1 % та 4 %, відповідно. При більших дозах опромінення водопоглинання зменшується.

Результати цього дослідження показали, що УФ-С-опромінення збільшує кінетику поглинання води тільки при певних дозах опромінення.

На рис. 2 і рис. 3 представлені залежності зміни швидкості гідратації залежно від часу гідратації або вмісту вологи на основі кращого прогнозу моделі штучної нейронної мережі (ШНМ) [21].

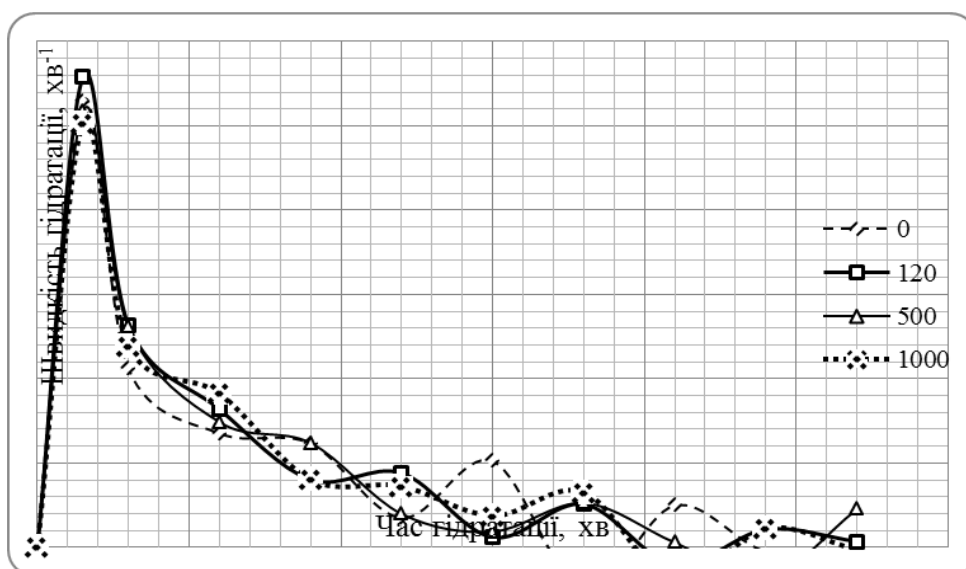


Рис. 2. Залежність зміни швидкості гідратації залежно від часу гідратації при дозах опромінення: 0 – без опромінення; 120 Дж/м², 500 Дж/м² та 1000 Дж/м²

Результати цього дослідження показали, що УФ-С опромінення значно змінює кінетику поглинання води насінням *V. Narus*. УФ-С випромінювання при певних дозах опромінення здатне викликати більш швидке проникнення води в насіння і більш ефективну гідратацію тканин. При

певних дозах УФ-С опромінення збільшує не тільки швидкість поглинання води, але і кількість поглиненої води на перших етапах водопоглинання. Відмінності між опроміненим і неопроміненим насінням було видно після перших 15 хвилин набухання. Послідовне збільшення вмісту води до певних порогових значень під час набубнявіння поступово задіє різні типи біохімічних і клітинних процесів, і як наслідок, зміну швидкості протікання набубнявіння під впливом УФ радіації у проростаючому насінні.



Рис. 3. Залежність зміни швидкості гідратації залежно від вмісту води при дозах опромінення: 0 – без опромінення; 120 Дж/м², 500 Дж/м² та 1000 Дж/м²

Ці результати підтверджуються нещодавніми дослідження [20], де за допомогою магнітно-резонансної томографії (MIR) встановили, що точкою входу води в насіння ріпаку (*V. parvus*) є невелика ділянка насінної оболонки, що підтверджують попередні спостереження, отримані для інших видів рослин [22]. Це дослідження також показало, що у ріпаку (*V. parvus*) набубнявіння ембріона є неоднорідним процесом, який починається з гідратації корінця, спричиняючи регідратацію інших частин ембріона. Крім того, були виявлені фактори, що потенційно впливають на гідратацію при проростанні ґрунтованого насіння. Було показано, що УФ-С-опромінення (I) змінює мікроструктурні особливості насінної оболонки, наприклад, призводить до утворення мікротріщин, (II) змінює внутрішню структуру насіння за рахунок утворення додаткових пустот у насінні, (III) збільшує вакуолізацію клітин сім'ядолі.

Перша фізіологічна активність, відновлювальна через поглинання води, – це дихання і метаболізм амінокислот [23, 24]. У *V. parvus* відновлення дихання починається в ендоспермі і поширюється відповідно до маршруту розподілу води всередині проростаючого насіння [21]. Підготовка зародка до появи залежить від вмісту води, тому ймовірно, що швидка і більш ефективна гідратація ембріональних тканин, викликана УФ-С опроміненням, може призвести до скорочення часу проростання. УФ-опромінене насіння *V. parvus* проростає майже вдвічі швидше і рівномірніше, ніж неопромінене насіння. Ці результати узгоджуються з результатами низки робіт [25, 26], де показано, що УФ-опромінення сприяє проростанню насіння *V. parvus* як в оптимальних умовах, так і в умовах стресу.

Слід зазначити, що поліпшене водопоглинання під час проростання після УФ-С опромінення не можна розглядати як єдиний фактор, відповідальний за посилене проростання опроміненого насіння. Було виявлено, що однією з причин, відповідальних за швидке проростання ґрунтованого насіння, є ініціювання процесів, пов'язаних із проростанням під час попередньої гідратації [4], що дозволяє ґрунтованому насінню досягти більш високого метаболічного стану до початку проростання.

Збільшення енергії проростання при УФ-С опроміненні насіння є результатом багатьох механізмів, спричинених опроміненням, включаючи ефективне водопоглинання, яке, безумовно, вносить значний вклад у цей ефект. З іншого боку, результати інших робіт [27] показують, що

гідромопраймування насіння томатів призводить до зменшення водопоглинання під час I фази проростання, ніж контрольне насіння.

Автори [4] визначили ці зміни як потенційні причини спостережуваного поліпшення проростання УФ-опроміненого насіння при певних дозах, що дозволяє знизити раннє імбібіційне пошкодження і поліпшити реорганізацію мембран. Дійсно, надмірно швидке початкове поглинання води може призвести до так званого імбібіційного пошкодження насіння, яке насамперед проявляється в порушенні структурної цілісності мембран і призводить до витоку розчинного клітинного вмісту [28]. Зв'язок між швидкістю гідратації та виникненням імбібіційного пошкодження підтверджений на насінні різних видів [29, 30].

Результати цього дослідження показали, що поглинання води УФ-опроміненним насінням ріпаку спричиняє надмірне імбібіційне пошкодження при більш великих дозах УФ-опромінення, оскільки потенціал проростання зменшується, а при малих дозах опромінення, навпаки – поліпшується [31].

Висновки

Експериментальні дослідження свідчать про позитивний вплив УФ-опромінення в передпосівній обробці насіння ріпаку при малих дозах опромінення на його посівні якості та біометричні показники при опроміненні в області С (200–280 нм). При УФ-опроміненні насіння ріпаку сорту Шерпа дозами 120 Дж/м² енергія проростання зростала на 15 % порівняно з контрольними зразками, а схожість – у середньому на 11 %. При дозах 250, 500, 1000 і 3000 Дж/м² спостерігається зниження посівних якостей насіння ріпаку.

УФ-С опромінення змінює кінетику поглинання води насінням ріпаку, викликаючи більш швидке проникнення води в насіння і більш ефективну гідратацію тканин, позитивно впливаючи на посівні якості та біометричні показники. Аналіз результатів показав, що швидкість гідратації насіння різко зростала у початковій фазі та поступово і повільно зменшувалась у середній та завершальній фазах процедури гідратації, поки не досягнула вмісту насиченої вологи. Опромінене насіння при дозі 120 Дж/м² показало більш високу швидкість поглинання води, ніж контрольне, як на ранніх, так і на більш пізніх етапах водопоглинання. При збільшенні дози УФ-опромінення поглинання води зменшилося в усьому діапазоні УФ-опромінення.

Передпосівна обробка насіння УФ-опроміненням збільшує швидкість гідратації при малих дозах опромінення, позитивно впливаючи на посівні якості та біометричні показники, а при зростанні доз опромінення – зменшується.

Поглинання води УФ-опроміненним насінням ріпаку спричиняє надмірне імбібіційне пошкодження при більш великих дозах УФ-опромінення, оскільки потенціал проростання зменшується.

References

1. Rehman, H. ur, Nawaz, Q., Basra, S. M. A., & ul-Hassan, F. (2014). Seed priming influence on early crop growth, phenological development and yield performance of Linola (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Integrative Agriculture*, 13 (5), 990–996. doi: 10.1016/S2095-3119(13)60521-3
2. Lutts, S., Benincasa, P., Wojtyła, Ł., Kubala, S. Z., Roberta, P., & Lechowska, K. (2016). Seed priming: new comprehensive approaches for an old empirical technique. In Araujo, S., & Balestrazzi, A. (eds). *New challenges in seed biology – basic and translational research driving seed technology chapter: 1*. London: IntechOpen.
3. Fu, D.-hui, Jiang, L.-Y., Mason, A. S., Xiao, M.-li, Zhu, L.-rong, Li, L.-zhi, Zhou, Q.-hong, Shen, C.-Jian, & Huang, C.-hui. (2016). Research progress and strategies for multifunctional rapeseed: A case study of China. *Journal of Integrative Agriculture*, 15 (8), 1673–1684. doi: 10.1016/S2095-3119(16)61384-9
4. Lechowska, K., Kubala, S., Wojtyła, L., Nowaczyk, G., Quinet, M., Lutts, S., & Garnczarska M. (2019). New insight on water status in germinating *Brassica napus* seeds in relation to priming-improved germination. *International Journal of Molecular Sciences*, 20 (3), 540. doi: 10.3390/ijms20030540
5. Yagmur, M., & Kaydan, D. (2008). Alleviation of osmotic stress of water and salt in germination and seedling growth of triticale with seed priming treatments. *African Journal of Biotechnology*, 7 (13), 2156–2162.
6. Majeed, A., Muhammad, Z., Ullah, R., & Ali, H. (2018). Gamma irradiation i: effect on germination and general growth characteristics of plants – a review. *Pakistan Journal of Botany*, 50 (6), 2449–2453.
7. De Souza, A., García, D., Sueiro, L., & Gilart, F. (2014). Improvement of the seed germination, growth and yield of onion plants by extremely low frequencynon-uniform magnetic fields. *Scientia Horticulturae*, 176, 63–69. doi: 10.1016/j.scienta.2014.06.034

8. Sharma, R., Pandey, S. T., Verma, O., Srivastava, R. C., & Guru, S. K. (2020). Physiological seedling vigour parameters of wheat as influenced by different seed invigoration techniques. *International Journal of Chemical Studies*, 8 (1), 1549–1552. doi: 10.22271/chemi.2020.v8.i1v.8479
9. Marenych, V., Semenov, A., Sakhno, T., & Barashkov, N. (2021). American Chemical Society ASC FALL 2021 «Resilience of Chemistry», august 22–26.
10. Siddiqui, A., Dawar, S., Javed, Z. M., & Hamid, N. (2011). Role of ultra violet (UV-C) radiation in the control of root infecting fungi on groundnut and mung bean. *Pakistan Journal of Botany*, 43 (4), 2221–2224.
11. Shiozaki, N., Hattori, I., & Tezuka, T. (1999). Activation of growth nodulation in a symbiotic system between pea plants and leguminous bacteria by near UV radiations. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 50 (1), 33–37.
12. Brown, J. E., Lu, T. Y., Stevens, C., Khan, V. A., Lu, J. Y., Wilson, C. L., Collins, D. J., Wilson, M. A., Igwegbe, E. C. K., Chalutz, E., & Droby, S. (2001). The effect of low dose ultraviolet Light-C seed treatment on induced resistance in cabbage to black rot (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*). *Crop Protection*, 20 (10), 873–883. doi: 10.1016/S0261-2194(01)00037-0
13. Hijnan, W. A. M., Beerendonk, E. F., & Medema, G. J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. *Water Research*, 40 (1), 3–22. doi: 10.1016/j.watres.2005.10.030
14. Semenov, A., Kozhushko, G., & Sakhno, T. (2018). Influence of pre-sowing UV-radiation on the energy of germination capacity and germination ability of rapeseed. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (1 (43)), 61–65. doi: 10.15587/2312-8372.2018.143417
15. Semenov, A. O. (2014). Osoblyvosti konstruktsii odnotsokolnykh lamp dlia ultrafioletovoho oprominiuvannia. *ScienceRise*, 5 (2(4)), 64–67. [In Ukrainian].
16. ISTA. (2018). Rules Proposals for the International Rules for Seed Testing 2017 Edition. Switzerland. Retrieved from: <https://www.seedtest.org/upload/cms/user/OGM1706ProposedChangestotheISTARules-forvotingonin2017Finalv4.pdf>
17. Shafaei, S. M., Nourmohamadi-Moghadami, A., & Kamgar, S. (2016). Development of artificial intelligence based systems for prediction of hydration characteristics of wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, 128, 34–45. doi: 10.1016/j.compag.2016.08.014
18. Semenov, A., Sakhno, T., Hordieieva, O., & Sakhno, Y. (2021). Pre-sowing treatment of vetch hairy seeds, *vicia villosa* using ultraviolet irradiation. *Global Journal Environmental Science and Management*, 7 (4), 555–564. doi: 10.22034/GJESM.2021.04.05
19. Turhan, M., Sayar, S., & Gunasekaran, S. (2002). Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. *Journal of Food Engineering*, 53, 153–159. doi: 10.1016/S0260-8774(01)00152-2
20. Niedbała, G., Piekutowska, M., Weres, J., Korzeniewicz, R., Witaszek, K., Adamski, M., Pilarski, K., Czechowska-Kosacka, A., & Krysztofiak-Kaniewska, A. (2019). Application of artificial neural networks for yield modeling of winter rapeseed based on combined quantitative and qualitative data. *Agronomy*, 9 (12), 781. doi: 10.3390/agronomy9120781
21. Porra, R. J. (2002). The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*, 73, 149–156. doi: 10.1023/A:1020470224740
22. Munz, E., Rolletschek, H., Oeltze-Jafra, S., Fuchs, J., Guendel, A., Neuberger, T., Ortleb, S., Jakob, P. M., & Borisjuk, L. (2017). A functional imaging study of germinating oilseed rapeseed. *New Phytologist Foundation*, 216 (4), 1181–1190. doi: 10.1111/nph.14736
23. Weitbrecht, K., Müller, K., & Leubner-Metzger, G. (2011). First off the mark: Early seed germination. *Journal Experimental Botany*, 62 (10), 3289–3309. doi: 10.1093/jxb/err030
24. Bove, J., Jullien, M., & Grappin, P. (2001). Functional genomics in the study of seed germination. *Genome Biology*, 3 (1): reviews1002. doi: 10.1186/gb-2001-3-1-reviews1002
25. Kubala, S., Wojtyła, Ł., Quinet, M., Lechowska, K., Lutts, S., & Garnczarska, M. (2015). Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seed osmopriming improvement of *Brassica napus* germination under salinity stress. *Journal Plant Physiology*, 183, 1–12. doi: 10.1016/j.jplph.2015.04.009

-
26. Kubala, S., Garnczarska, M., Wojtyła, Ł., Clippe, A., Kosmala, A., Zmieńko, A., Lutts, S., & Quinet, M. (2015). Deciphering priming-induced improvement of rapeseed (*Brassica napus* L.) germination through an integrated transcriptomic and proteomic approach. *Plant Science*, 231, 94–113. doi: 10.1016/j.plantsci.2014.11.008
27. Nagarajan, S., Pandita, V. K., Joshi, D. K., Sinha, J. P., & Modi, B. S. (2005). Characterization of water status in primed seeds of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) by sorption properties and NMR relaxation times. *Seed Science Research*, 15 (2), 99–111. doi: 10.1079/SSR2005200
28. Osborne, D. J., Boubriak, I., & Leprince, O. (2002). Rehydration of dried systems: Membranes and the nuclear genome. In Book: *Desiccation and Survival in Plants: Drying without Dying* (pp. 343–364). Wallingford, UK.
29. Powell, A. A., Oliveira, M. D. A., & Matthews, S. (1986). The role of imbibition damage in determining the vigour of white and coloured seed lots of dwarf french beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Experimental Botany*, 37 (5), 716–722.
30. Nakayama, N., Hashimoto, S., Shimada, S., Takahashi, M., Kim, Y.-H., Oya, T., & Arihara, J. (2004). The effect of flooding stress at the germination stage on the growth of soybean in relation to initial seed moisture content. *Japanese Journal of Crop Science*, 73 (3), 323–329. doi: 10.1626/jcs.73.323
31. Semenov, A., Sakhno, T., & Semenova, K. (2021). Influence of UV radiation on physical and biological properties of rapeseed in pre-sowing treatment. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 10 (4), 217–223. doi: 10.35940/ijitee.D8587.0210421

Стаття надійшла до редакції: 23.10.2021 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Семенов А. О., Сахно Т. В., Семенова Н. В., Ляшенко В. В. Вплив УФ-випромінювання на біологічні властивості та водопоглинання при передпосівному опроміненні насіння ріпаку озимого. *Вісник ПДАА*. 2021. № 4. С. 44–52.

© Семенов Анатолій Олексійович, Сахно Тамара Вікторівна, Семенова Наталія Володимирівна, Ляшенко Віктор Васильович, 2021