

Розділ 5

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

УДК 621.3.031

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ЕЛЕКТРОСТИМУЛЯЦІЇ НАСІННЯ СОНЯШНИКА

Степан Ковалишин¹, к. т. н., Богдан Нестер¹, аспірант,
Вадим Пташник¹, к. т. н., Олексій Швець¹, к. т. н., Павел Келбаса², д. т. н.,
Анна Мернік², аспірантка, Ярослав Сало³

¹Львівський національний університет природокористування,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,
stkovalyshyn@gmail.com

²Краківський рільничий університет ім. Г. Коллонтая,
алея Міцкевича 21, 31-120, м. Краків, Польща,
pawel.kielbasa@urk.edu.pl

³Львівська філія УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого,
вул. Л. Мартовича, 15, смт Магерів, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,
lfilia@ukr.net

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.085>

Ковалишин С., Нестер Б., Пташник В., Швець О., Келбаса П., Мернік А., Сало Я. Оцінка ефективності та оптимізації режимів передпосівної електростимуляції насіння соняшника

Стаття присвячена підвищенню посівних якостей насіннєвого матеріалу соняшника завдяки його передпосівній електростимуляції в електричному полі коронного розряду та оптимізації режимів її проведення.

Для розкриття причинно-наслідкового зв'язку між режимами передпосівної обробки насіння та його посівними і врожайними якостями, оптимізації параметрів обробки та розширення знань про механізм перебігу біологічних процесів у простимульованому насінні запропоновано використати метод час-корельованого підрахунку наднизької емісії фотонів TCSPC, які випромінює насіння соняшника після обробки в електричному полі коронного розряду.

У результаті проведених досліджень встановлено, що поглинання та перетворення енергії зовнішнього електричного поля під час електростимуляції насіння відбувається нелінійно. Основні перетворення відбуваються впродовж перших 15–20 с незалежно від напруженості електричного поля.

Встановлено, що передпосівна електростимуляція насіння соняшника забезпечила покращання його енергії проростання. У всіх досліджуваних варіантах обробки цей показник перевищив контроль. Найвищі значення енергії проростання спостерігалися за передпосівної електростимуляції напруженістю $E = 2,0$ кВ/см та експозиції $t = 20 \dots 30$ с. За таких параметрів електрообробки енергія проростання становила 90...92 %, що на 16...18 % перевищує контрольні показники, зафіксовані на рівні 74 %.

Виявлено, що обробка перед посівом насіння соняшника також позитивно впливає на його лабораторну схожість. Найбільший приріст до контролю, який становив 8 %, спостерігався за режиму обробки $E = 2,0$ кВ/см та експозиції $t = 25$ с. За таких умов лабораторна схожість досягла 96 % проти 88 % на контролі. Зростання лабораторної схожості досягається і за режиму обробки $E = 2,0$ кВ/см та експозицій $t = 20$ с і $t = 30$ с. У даному випадку вона становить 94 %, що на 6 % перевищує контрольний варіант.

Отримані результати передпосівної електростимуляції насіння соняшника дають підстави стверджувати, що цей технологічний захід доцільно використовувати в технології його післязбиральної підготовки з метою отримання високоякісного насіннєвого матеріалу з підвищеними посівними властивостями.

Ключові слова: насіння соняшника, електростимуляція, режими електрообробки, одиничні фотони, емісія, енергія проростання, лабораторна схожість.

Kovalyshyn S., Nester B., Ptashnyk V., Shvets O., Kielbasa P., Miernik A., Salo Ya. Assessment of the efficiency and optimization of the modes of pre-sowing electrical stimulation of sunflower seeds

The article is devoted to improvement of the sowing qualities of sunflower seed material by its pre-sowing electrical stimulation in the electric field of the corona discharge and optimization of the modes of its implementation.

To reveal the cause-and-effect connection between the pre-sowing seed treatment modes and its sowing and yield qualities, to optimize processing parameters and to expand knowledge about the mechanism of biological processes in stimulated

seeds, it is proposed to use the method of time-correlated counting of ultra-low emission of TCSPC photons emitted by sunflower seeds after processing in the electric field of the corona discharge.

As a result of the research, it is revealed that absorption and transformation of the energy of the external electric field during the electrical stimulation of seeds occurs non-linearly. The main transformations take place during the first 15–20 seconds, regardless of the electric field intensity.

It was found that pre-sowing electric stimulation of sunflower seeds led to improvement in its germination energy. In all studied processing options, this indicator exceeded the control. The highest values of germination energy were observed during pre-sowing electrical stimulation with voltage $E = 2.0$ kV/cm and exposure of $t = 20...30$ s. Under such parameters of electrical treatment, the energy of germination was 90...92 %, which is 16...18 % higher than the control indicators recorded at the level of 74 %.

It is also found that pre-sowing treatment of sunflower seeds has a positive effect on its laboratory germination. The largest increase to the control, i.e. 8%, was observed under the treatment mode of $E = 2,0$ kV/cm and exposure of $t = 25$ sec. Under these conditions, the laboratory similarity reached 96 % against 88% in the control. Laboratory similarity also increased with the treatment mode $E = 2,0$ kV/cm and exposures of $t = 20$ sec and $t = 30$ sec. In that case, it was 94 %, which was 6 % higher than the control version.

The obtained results of pre-sowing electrical stimulation of sunflower seeds confirm that such technological measure should be used in the technology of post-harvest preparation in order to obtain high-quality seed material with increased sowing properties.

Key words: sunflower seeds, electrical stimulation, electric treatment modes, single photons, emission, germination energy, laboratory germination.

Постановка проблеми. З метою підвищення посівних і врожайних властивостей насінневого матеріалу сільськогосподарських культур використовують різні фізичні методи його передпосівної обробки. Найефективнішими та екологічно безпечними вважаються ті, що ґрунтуються на використанні фізичних чинників впливу. Найпопулярнішим серед них є обробка змінним електромагнітним або електростатичним полем. Позитивний ефект від цього заходу отримують у тих випадках, коли обробка проводиться на оптимальних режимах, які є неоднаковими для насінневого матеріалу різних культур. Для їх виявлення необхідно проводити ґрунтовніші дослідження впливу параметрів електричного поля на посівні і врожайні якості обробленого насіння, використовувати нові методи оцінювання ефективності електростимуляції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На сьогодні широко застосовується передпосівна обробка насіння електромагнітним полем. У праці [12] досліджено вплив електромагнітних полів на рослини помідорів протягом усього вегетаційного періоду. Встановлено, що під їхнім впливом саджанці швидше розвивались, утворюючи більшу загальну площу листя, виділялися вищим ростом. У ході інших досліджень [8] встановлено, що час проростання насіння, підданого впливу електричного поля коронного розряду, скорочується, а динаміка процесу зростає. Завдяки стимулюючому впливу, життєздатність насіння моркви зросла на 24 %, редьки та буряка – на 12 %, ячменю – на 9 %. Позитивний вплив обробки в електромагніт-

ному полі, що полягає у зростанні енергії проростання та урожайності, виявлено для насіння низки досліджуваних гібридів кукурудзи [7; 10], проса [6] та нуту [9].

Передпосівна електрообробка насіння, зокрема олійних культур, має позитивний вплив на вихід олії, який з обробленого насіння, порівняно з необробленим, зростає на 4,9 % [4], поліпшує екстракцію загальних поліфенолів із продуктів переробки цих культур [5], покращує вихід і якість екстракції з рослинних матеріалів [11; 16].

Узагальнюючи дані результатів досліджень, можна стверджувати, що досі неможливо зробити узгоджені висновки стосовно впливу електромагнітного поля на насіння [13]. Насіння є надзвичайно складною біологічною системою, і процеси, які відбуваються в ньому та отриманих проростках унаслідок стимулюючої дії електричного поля, можуть протікати в різних напрямках. Тому фундаментальною задачею дослідників є: вибір біологічного матеріалу для досліджень і відповідних зовнішніх умов для проведення його передпосівної електрообробки; вибір параметрів електричного поля (напруженість поля, частота, тривалість обробки, полярність, час відлежування); встановлення кореляції між фізіологічними та хімікобіологічними процесами, що проходять у простикульованому насінні та його проростках, з параметрами електрообробки. Це дасть змогу виявити оптимальний режим стимуляції, що стане важливою передумовою впровадження даного технологічного процесу підготовки насінневого матеріалу у виробництво.

Сьогодні використовують різні методи оптимізації параметрів передпосівної електрообробки насіння. Деякі з них ґрунтуються на кількісній

оцінці фотолюмінесценції та час-корельованому підрахунку одиничних фотонів, які випромінює оброблене насіння. За останні десятиліття опубліковано результати дослідження випромінювання фотонів у багатьох мікроскопічних та макроскопічних системах, зокрема в ліпідних системах, бактеріях, дріжджах, лейкоцитах, нервових клітинах, мітохондріях, хлоропластах, ракових клітинах тощо [14; 15]. Останні дослідження також свідчать про те, що надслабка емісія фотонів є ефективним методом, який дає змогу оцінити ефективність електростимуляції насіння й оптимізувати параметри електрообробки. Зокрема, у працях [1–3] було встановлено тісний кореляційний зв'язок між посівними якостями простимульованого в електричному полі насіння озимого ріпаку та наднизькою емісією фотонів, які воно випромінює. Найвищі значення енергії проростання та лабораторної схожості спостерігалися за тих режимів обробки, за яких емісія була найбільшою.

Проте на сьогодні немає достатніх теоретичних і експериментальних даних, які б розкривали причинно-наслідковий зв'язок між передпосівною електрообробкою насіння соняшника та його посівними і врожайними якостями. Це спонукає до

проведення додаткових досліджень задля досягнення максимального позитивного ефекту від використання цього фізичного чинника впливу.

Постановка завдання. Метою досліджень є підвищення посівних і врожайних властивостей насіннєвого матеріалу соняшника завдяки коригуванню та оптимізації режимів його передпосівної електростимуляції на підставі час-корельованого підрахунку одиничних фотонів, які випромінює оброблене насіння.

Виклад основного матеріалу. Методика проведення досліджень.

Для дослідження було використано насіннєвий матеріал гібрида соняшника P44НН150. Насіння, що використовувалося в досліді, було однорідним, якісним, без будь-яких пошкоджень.

Відбір проб проведено за стандартизованою методикою. Кількість повторень є репрезентативною для умов випадкової зміни контрольованих параметрів насіння.

Електростимуляцію в постійному електромагнітному полі було проведено на експериментальній установці (рис. 1).

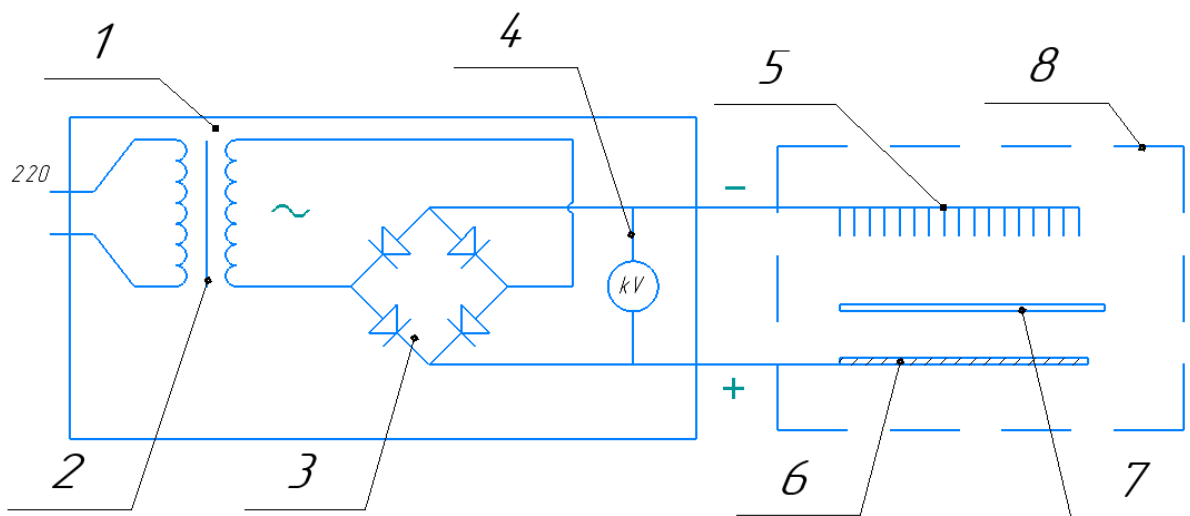


Рис. 1. Експериментальна установка для проведення передпосівної електростимуляції насіння:

- 1 – блок живлення; 2 – силовий підвищувальний трансформатор з регульованою напругою;
- 3 – діодний двопівперіодний випрямляч; 4 – вимірювач вихідної напруги 0–10 кВ;
- 5 – коронувальний електрод; 6 – протиелектрод; 7 – робоча поверхня; 8 – блок електростимуляції

Fig. 1. Experimental installation for pre-sowing electric stimulation of seeds

- 1 – power supply unit; 2 – power step-up transformer with adjustable voltage;
- 3 – diode two-half cycle rectifier; 4 – 0-10 kV output voltage meter;
- 5 – coronating electrode; 6 – counter electrode; 7 – working surface; 8 – block of electrical stimulation

Експериментальна установка складається з елемента живлення (1) та блока електростимуляції (8). Блок живлення містить силовий підвищувальний трансформатор із регульованою напругою (2), діодний двопівперіодний випрямляч (3) на базі силових діодів 1N4007 та вимірювач вихідної напруги 0-10 кВ (4). Така конструкція дозволяє здійснювати плавне регулювання, випрямлення та безпосередній контроль значення вихідної напруги.

Блок електростимуляції містить коронувальний електрод (5), протиелектрод (6) та робочу поверхню (7). Натомість коронувальний електрод (5) складається з 15 металевих пластин довжиною 280 мм, розміщених на відстані 25 мм одна від одної. До кожної пластини припаяно металеві голки довжиною 28 мм і діаметром 0,8 мм, відстань між голками – 30 мм. Через одну пластину по її ширині голки напаяні зі зміщенням 15 мм. За таких умов їх проєкції на горизонтальну робочу поверхню формують вершини рівностороннього трикутника, сторона якого рівна 30 мм. Відстань від краю голок до робочої поверхні (7), виготовленої з прозорого полімерного матеріалу товщиною 1 мм, становить 20 мм, а відстань від робочої поверхні до нижнього пластинчастого електрода (6), виготовленого зі сплаву алюмінію, – 10 мм.

Коронувальний електрод з'єднано з негативним полюсом блока живлення, а протиелектрод під'єднано до позитивного полюса, що забезпечує подачу високої регульованої напруги та формування між ними негативного коронного розряду.

Електростимуляцію в постійному електромагнітному полі було проведено на дослідному пристрої. Попередньо для кожної проби відраховували по 50 насінин. Кожну з проб рівномірно розподілили по робочій поверхні, після чого, виставивши необхідну напругу, вмикали пристрій. Час обробки контролювали за допомогою секундоміра, після чого вимикали установку. Електростимуляцію здійснено за різних комбінацій напруженості електричного поля ($E = 1; 1,5; 2,0; 2,5$ та 3 кВ/см) і значень тривалості обробки ($t = 5; 10; 15; 20; 25$ та 30 с). Такі режими передпосівної електростимуляції насіння соняшника визначено за результатами проведеного літературного огляду та враховуючи технологічні особливості процесу електростимуляції. Розкид контрольованих параметрів дасть змогу оцінити ефективність поглинання насінням зовнішньої енергії залежно від тривалості та інтенсивності опромінення.

Потім пробу поміщали в скляну чашку Петрі й залишали відлежуватися впродовж однієї доби. Після цього на дно чашок ставили зволожений фільтрувальний папір. Зразки поміщали в темпе-

ратурну камеру серії RGX (рис. 2), яка підтримувала постійну температуру на рівні $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вологість 60 %. На 4-й день реєстрували кількість пророщених насінин для визначення енергії пророщення. На 7-й день реєстрували кількість пророщених насінин для визначення схожості насіння.

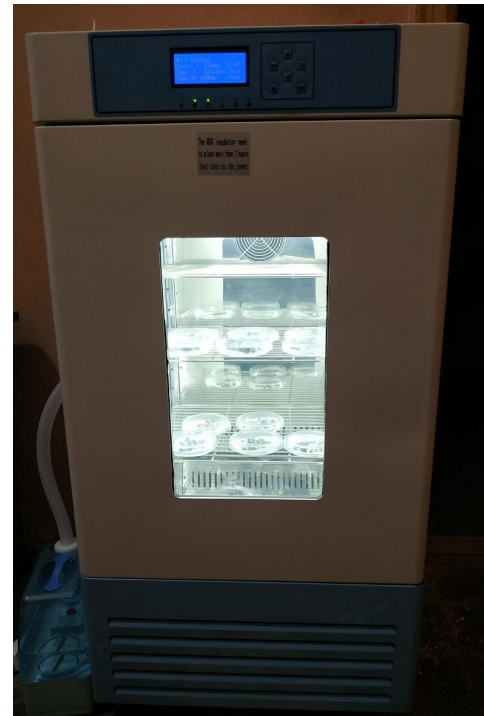


Рис. 2. Загальний вигляд температурної камери серії RGX
Fig. 2. General view of the temperature chamber of the RGX series

Частина простикульованого насіння після відлежування відбирали для вивчення наднизької емісії фотонів. Для визначення оптимального режиму електростимуляції проведено реєстрацію фотонів, які випромінює оброблене в електричному полі і необроблене насіння соняшника. Для цього використовувався фотопомножувач HAMAMATSU R4220. Вимірювальна установка забезпечувала довготривалу термостабілізацію зразка. Світлопроникну камеру для зразків оснащено системою екранів для періодичного переривання реєстрації фотонів, унаслідок чого шум і корисний сигнал вимірювався по чергові, що дозволяло отримувати достовірні результати навіть за низької інтенсивності сигналу. Тривалість реєстрації випромінювання фотонів становила не менше ніж 30 хвилин для кожного зразка. Результатом вимірювання наднизького фотонного випромінювання є абсолютна різниця між кількістю фотонів, зареєстрованих фотопомножувачем у світлопроникній

камері з простимульованим посівним матеріалом ріпаку, та кількістю фотонів, зареєстрованих фотопомножувачем у цій камері без насіння, відповідно до формули

$$L = A - B, \quad (1)$$

де L – кількість фотонів, випромінюваних досліджуваним зразком; A – кількість фотонів, випромінюваних зразком, розміщеним у світлонепроникній камері; B – кількість показань (фотонів), створених порожньою світлонепроникною камерою.

Калібрування датчика проводили щоразу в день вимірювань, і воно полягало у визначенні відношення реакції системи до стандартної дози випромінювання згідно з формулою

$$K = (A_0 - B)/D, \quad (2)$$

де K – коефіцієнт калібрування (система вимірювання вважалася ефективною і готовою до вимірювання, якщо $K = 0,8 \dots 1$); A_0 – кількість фотонів в інтервалі 500 с з еталонним джерелом; B – кількість фотонів, зареєстрованих у порожній камері; D – відома доза, що використовується для калібрування (400 фотонів).

Після запуску вимірювальної системи на першій фазі з часовим інтервалом 120 с відбувається стабілізація системи для запобігання перешкодам, що виникають унаслідок тимчасової дестабілізації стандартних умов. Тривалість наступної (вимірювальної) фази становила 500 с. Частота запису результатів – 4 Гц, тобто кожен записаний результат є сумою фотонів, зареєстрованих упродовж 0,25 с. Вибір вищезазначених параметрів відбувався емпіричним шляхом, щоб забезпечити мінімізацію часу експозиції, водночас забезпечивши одержання статистично значущих результатів. Процес вимірювання контролювався в режимі реального часу за допомогою оригінальної програми, зробленої в LabVIEW.

Результати і обговорення. Аналіз результатів визначення енергії проростання насіння соняшника гібрида Р64НН150 (рис. 3) показав, що всі використані режими стимуляції мали позитивний вплив на цей показник, оскільки за всіх досліджених комбінацій напруженості електричного поля та часу обробки його значення перевищили контроль.

У результаті короткотривалої електростимуляції (до 15 с) найкращі результати – 85–91 % – спостерігаються за напруженості електричного поля у 2,5 кВ/см. Зі збільшенням тривалості електростимуляції до 20–30 с найкраще підвищується енергія проростання насіння, що перебувало в полі

з напруженістю у 2 кВ/см – до 90–92 %, що на 16...18 % перевищує контроль. Водночас за подальшого збільшення тривалості електростимуляції чи напруженості електричного поля енергія проростання спадає до 78–86 %.

Подібні залежності проявляються і в разі вивчення лабораторної схожості досліджуваних зразків насіння соняшника (рис. 4). Експериментальні результати вказують на загальний позитивний вплив електрообробки на досліджуваний насінневий матеріал соняшника. При малій тривалості електростимуляції лабораторна схожість перебуває на рівні 90–94 %. Водночас зі збільшенням тривалості електростимуляції найкращі показники проявляються за напруженості поля у 2 кВ/см – 94–96 %, проти 88 % на контролі. Також виявлено негативний вплив подальшого збільшення напруженості поля коронного розряду. Так, при напруженості в 3 кВ/см лабораторна схожість спадає до 89–91 %.

Тобто для визначення оптимальних параметрів електростимуляції слід оперувати комплексним показником, який би відображав як надану системі енергію, так і можливі релаксаційні та рекомбінаційні процеси. Саме таким комплексним показником і може виступати наднизька емісія фотонів. Результати її вимірювання подано в таблиці.

Як видно з даних, наведених у таблиці, за малої тривалості електростимуляції (до 10 с) найвищі показники випромінювання фотонів відповідають напруженості електричного поля у 2,5 кВ/см. Зі збільшенням тривалості електростимуляції максимальна кількість випромінених фотонів спостерігається за напруженості поля у 2–2,5 кВ/см.

Результати дослідження емісії фотонів за великих напруженостей електричного поля також корелюють зі змінами схожості та енергії проростання. Як бачимо (рис. 5), випромінювання фотонів спадає зі збільшенням часу й тривалості електростимуляції. Лише режим електростимуляції за напруженості електричного поля $E = 2$ кВ/см дає змогу отримати рівномірне випромінювання фотонів, майже незалежно від тривалості обробки, що вказує на значні рекомбінаційні перетворення під час такого режиму стимуляції.

Для ретельного порівняння зафіксованої емісії фотонів з енергією проростання та лабораторною схожістю насіння побудовано карти двомірного розподілу (рис. 6).

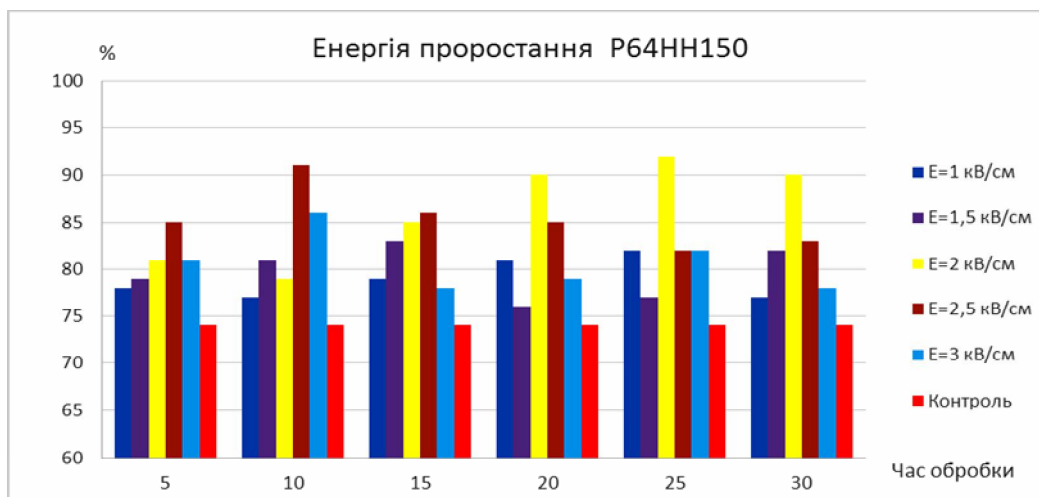


Рис. 3. Енергія проростання соняшника гібрида P64HH150
Fig. 3. Germination energy of sunflower hybrid P64HH150

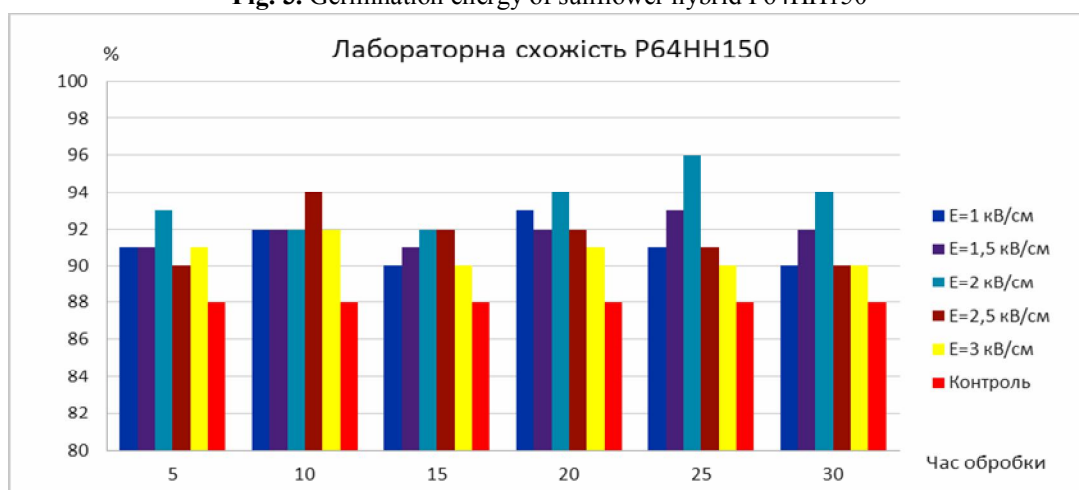


Рис. 4. Лабораторна схожість соняшника гібрида P64HH150
Fig. 4. Laboratory germination of sunflower hybrid P64HH150

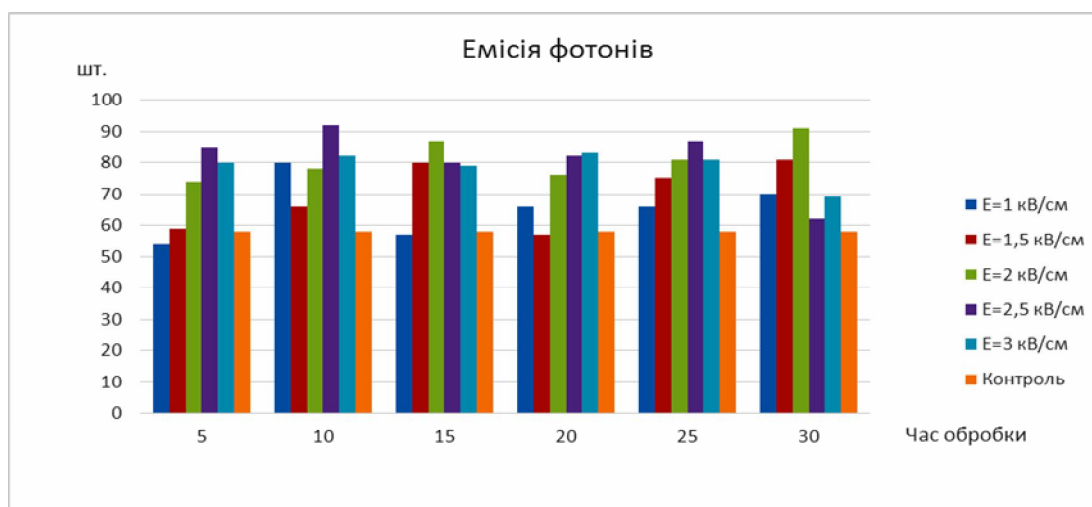


Рис. 5. Емісія фотонів насінням соняшника після електростимуляції
Fig. 5. Photon emission by sunflower seeds after electrical stimulation

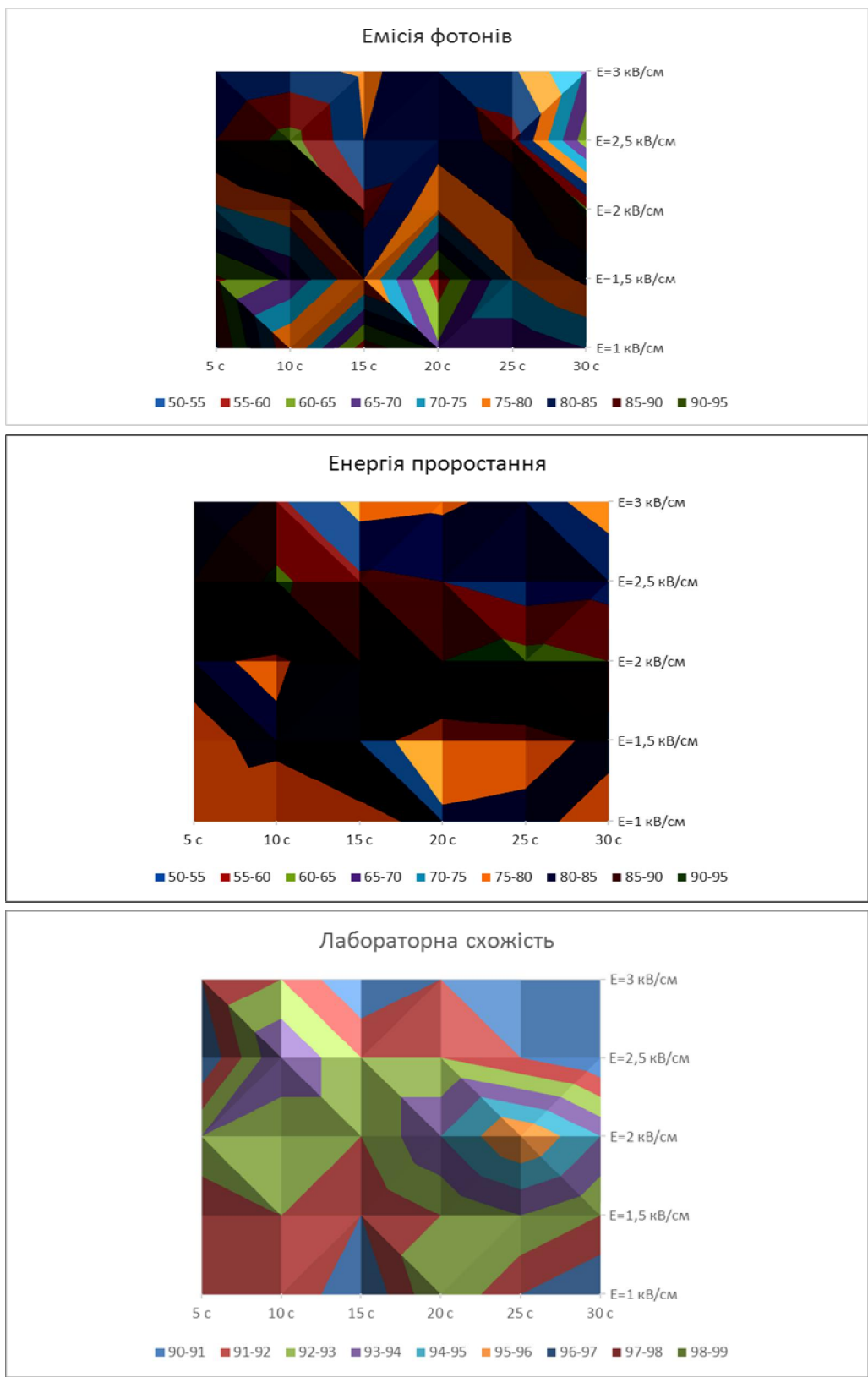


Рис. 6. Карти двовірного розподілу емісії фотонів (а), енергії проростання (б) та лабораторної схожості (в).

Fig. 6. Maps of the two-dimensional distribution of photon emission (а), germination energy (б), and laboratory similarity (в).

Таблиця. Узагальнені результати спостереження наднизької емісії фотонів
Table. Generalized results of observation of the ultralow photon emission

Напруженість, кВ/см	Час обробки, с						Контроль
	5	10	15	20	25	30	
1	54	80	57	66	66	70	63
1,5	59	66	80	57	75	81	63
2	74	78	87	76	81	91	63
2,5	85	92	80	82	87	62	63
3	80	82	79	83	81	69	63

На отриманих картах виявлено дві локалізовані зони збільшення енергії проростання та лабораторної схожості насіння, які добре корелюють між собою. Пік першої зони припадає на режим $E = 2,5$ кВ/см, $t = 10$ с, а пік другої зони знаходиться в точці $E = 2$ кВ/см, $t = 25$ с. Втім, на карті емісії фотонів чітко виділяється лише перший пік, який також розташований у точці $E = 2,5$ кВ/см, $t = 10$ с. Відсутність другого піку на карті випромінювання фотонів пояснюється рекомбінаційними процесами, які, як і було описано раніше, проявляються за напруженості $E = 2$ кВ/см. Ці спостереження свідчать про системність отриманих результатів і можливість подальшої оптимізації технологічного процесу передпосівної електрообробки насіння.

Висновки

1. Передпосівна електростимуляція насіння соняшника забезпечила покращання його енергії проростання. У всіх досліджуваних варіантах обробки цей показник перевищив контроль. Найвищі значення енергії проростання спостерігалися за передпосівної електростимуляції напруженістю $E = 2,0$ кВ/см та експозиції $t = 20 \dots 30$ с. За таких параметрів електрообробки енергія проростання становила 90...92 %, що на 16...18 % перевищило контроль, який становив 74 %.

2. Обробка перед посівом насіння соняшника позитивно впливає на його лабораторну схожість. Найбільший приріст до контролю, який становив 8 %, спостерігався за режиму обробки $E = 2,0$ кВ/см та експозиції $t = 25$ с. За таких умов лабораторна схожість досягла 96 % проти 88 % на контролі. Зростання лабораторної схожості досягається й за режиму обробки $E = 2,0$ кВ/см та експозицій $t = 20$ с і $t = 30$ с. У даному випадку вона становить 94 %, що на 6 % перевищує контрольний варіант.

3. Для визначення оптимальних параметрів електростимуляції доцільно оперувати комплексним показником, який би відображав як надану системі енергію, так і можливі релаксаційні та

рекомбінаційні процеси. Встановлено, що для насіння соняшника таким комплексним показником може виступати наднизька емісія фотонів. На відміну від інших контрольованих параметрів, спостереження за емісією фотонів дозволяє встановити єдиний оптимальний режим – $E = 2,5$ кВ/см, $t = 10$ с. Системність отриманих результатів вказує на можливість подальшої оптимізації технологічного процесу передпосівної електрообробки насіння за цим параметром.

4. Отримані результати позитивного впливу передпосівної обробки насіння соняшника в електричному полі коронного розряду на його посівні якості дають підстави стверджувати, що цей технологічний захід доцільно використовувати в технології його післязбиральної підготовки з метою отримання високоякісного насінневого матеріалу з підвищеними показниками енергії проростання та лабораторної схожості.

Бібліографічний список

1. Дослідження взаємозв'язку між емісією фотонів електростимульованого насіння озимого ріпаку та його посівними якістьми / С. Ковалишин та ін. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. 2021. № 25. С. 107-111.
2. Ефективність передпосівної електростимуляції насіння озимого ріпаку / С. Ковалишин, В. Пташник, О. Швець, Б. Нестер, М. Климчук, Я. Сало. *Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій: матеріали XXI Міжнар. наук. конф.* Дослідницьке: УКРНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2021. С. 85-191.
3. Технологія передпосівної обробки насіння ріпаку електричним полем високої напруженості / С. Ковалишин, В. Пташник, О. Швець, Б. Нестер. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XXII Міжнар. наук.-практ. форуму, 5-7 жовт. 2021 р.: у 2 т.* Львів: ННВК «АТБ», 2021. Т. 2. С. 77-81.
4. Application of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges for oil extraction from sesame seeds / J. Sarkis, N. Boussetta, I. Tessaro, L. Marczak, E. Vorobiev. *Journal of Food Engineering*. 2015. 153. P. 20-27.
5. Effect of high voltage electrical discharges, heating and ethanol concentration on the extraction of total

polyphenols and lignans from flaxseed cake / N. Boussetta et al. *Industrial Crops and Products*. 2013. 49. P. 690-696.

6. Effect of positive and negative corona discharge field on vigor of millet seeds / J. Wang et al. *Digital object identifier*. 2020. 8. P. 50268-50275.

7. Electromagnetic field and seed vigour of corn hybrids / R. Zepeda-Bautista et al. *Int. Agrophys*. 2010. 24(3). P. 329-332.

8. Lynikiene S., Pozeliene A., Rutkauskas G. Influence of corona discharge field on seed viability and dynamics of germination. *Int. Agrophys*. 2006. 20. P. 195-200.

9. Mahajan T., Pandey O. Effect of electric field (at different temperatures) on germination of chickpea seed. *African Journal of Biotechnology*. 2014. 13(1). P. 61-67.

10. Physical characteristics of maize grain and tortilla exposed to electromagnetic field / R. Zepeda et al. *Int. Agrophys*. 2011. 25(4). P. 389-393.

11. Puértolas, E., de Marañón I. M. Olive oil pilot-production assisted by pulsed electric field: Impact on extraction yield, chemical parameters and sensory properties. *Food Chemistry*. 2015. 167. P. 497-502.

12. Stašelis A., Duchovskis P., Brazaityte A. Impact of electromagnetic fields on morphogenesis and physiological indices of tomato. *Int. Agrophys*. 2004. 18(3). P. 277-283.

13. Sumorek A., Pietrzyk W. Influence of electric field on the speed of convective removal of water from wheat grain. *Int. Agrophys*. 1999. 13(4). P. 509-513.

14. Ultra słaba luminescencja (USL) jako potencjalna metoda oceny jakości żywności tradycyjnej / M. Oziembowski et al. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2017. 93 (12). P. 131-135.

15. Wykorzystanie emisji biofotonów do parametryzacji jakościowej produktów spożywczych / P. Kielbasa, T. Drózdź, P. Nawara, M. Drózdź. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2017. 93 (1). P. 153-156.

16. Zongming Li, Yang Fan, Jun Xi. Recent advances in high voltage electric discharge extraction of bioactive ingredients from plant materials. *Food Chemistry*. 2019. 277. P. 246-260.

Стаття надійшла 21.09.2022