

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА**

**ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ
СИСТЕМ**

Кафедра медичної радіофізики

«На правах рукопису»

Робота допущена до захисту в ЕК
рішенням кафедри медичної радіофізики
від __ червня 2024 року, протокол № __
Завідувач кафедри канд. фіз.-мат. наук, доцент
_____ Сергій Радченко

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

**«ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ СЕРЕДОВИЩА ПРИ ПЛАЗМОВІЙ СКАРИФІКАЦІЇ
НАСІННЯ САЛАТУ»**

Виконав:

студент 4-го курсу
денної форми навчання
спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали
ОПП Електроніка та інформаційні технології в медицині

Буць Євген Юрійович _____

Науковий керівник:

канд. фіз.-мат. наук, доцент
Юлія Петрівна Веремій _____

Рецензент:

канд. фіз.-мат. наук, доцент
Кравченко Олександр Юрійович _____

Засвідчую, що у цій бакалаврській роботі
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____ Євген БУЦЬ

Київ – 2024

Зміст

РЕФЕРАТ	2
ВСТУП	3
1.ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	5
1. 1 ОБРОБКА ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ	5
1.1.1 Плазмова скарифікація насіння	5
1.1.2 Вплив фізико-хімічних чинників плазми на поверхню	9
1.1.3 Скарифікація насінневої оболонки	12
1.2 НЕТЕПЛОВІ СТРИМЕРНІ РОЗРЯДИ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ	14
1.2.1 Стримери та мікророзряди	15
1.2.2 Взаємодія стримерів і мікророзрядів	15
1.2.3 Коронні та імпульсні коронні розряди	17
1.2.4 Діелектричні бар'єрні розряди (ДБР)	19
1.2.5 Радіочастотний розряд	20
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	22
2.1 Опис експериментальної установки	23
2.2 Хід роботи	25
ВИСНОВОК	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота вміщує 59 стор., 40 рис., 7 табл.

СКАРИФІКАЦІЯ, ФОРМУВАННЯ ПАРОСТКІВ, НАСІННЯ САЛАТУ

Метою даної дипломної роботи є дослідження впливу вологості середовища на ефективність плазмової скарифікації насіння салату та визначення оптимальних умов для формування паростків. Результати дослідження дозволять визначити, як вологість середовища впливає на ефективність плазмової скарифікації насіння салату, а також встановити оптимальні умови для проведення даної обробки. Це сприятиме підвищенню схожості насіння та поліпшенню формування паростків, що має велике значення для агропромисловості та вирощування салату.

Вступ

Плазма холодного атмосферного тиску наразі інтенсивно вивчається для застосування в сільському господарстві та харчовій промисловості. Різноманітність впливу плазми на біологічний матеріал (насіння, горіхи, сухофрукти та ін.) зумовлює її застосування для покращення схожості, збільшення врожайності, а також деградації мікотоксинів на поверхні насіння. Метою цієї плазмової "зеленої технології" є зменшення кількості небажаних і шкідливих хімічних речовин у навколишньому середовищі. ННП - це нерівноважна низькотемпературна плазма, що генерується при атмосферному тиску, що спрощує його використання на практиці. Цей тип джерел плазми працює без вакуумних систем і дорогих інертних газів, використовуючи лише навколишнє повітря. Плазма складається з багатьох видів реактивних частинок, заряджених частинок, ультрафіолетового випромінювання, радикалів та інших газових сполук. Однак ННП не пошкоджує термочутливий біологічний матеріал, оскільки температура важких частинок не є високою. Утворення активних форм кисню та азоту в ПАВ може бути відповідальним за зниження рН, що може бути основною причиною його антимікробних властивостей

Існують різні методи контролю проростання та посилення виробництва і накопичення поживних і біологічно активних сполук у паростках. Найпоширенішими з них є вплив стресу (холод/тепло, гіпоксія) та використання різних форм фізичної енергії, таких як тиск, світло, ультразвук, магнітне поле або нетеплова плазма. Нетеплова (холодна) плазма, яка зазвичай генерується електричним розрядом у високошвидкісному газовому потоці, являє собою складну суміш іонів, атомів, молекул, вільних радикалів та електронів. Повідомлялося, що нетермічна плазмова обробка покращує проростання насіння

та накопичення біологічно активних сполук у паростках, скорочує час проростання, необхідний для накопичення максимального вмісту фітохімічних речовин, сприяє росту рослин і запобігає мікробному забрудненню рослинного матеріалу. Нетеплова плазма може застосовуватися не тільки безпосередньо, але й у вигляді води, активованої нетепловою плазмою (ПАВ), яку зазвичай отримують шляхом розпилення води в зоні дії плазми. В результаті процесу утворюються активні форми кисню та азоту, серед яких перекис водню та нітрати вважаються основними видами, що впливають на проростання насіння, ріст розсади, біосинтетичні шляхи та стресову реакцію рослин.

Ця дипломна робота присвячена дослідженню впливу низькотемпературної плазми на посівний матеріал та їхньої ролі у взаємодії з насінням. Метою дослідження є вивчення впливу плазми на проростання насіння й розробка рекомендацій для впровадження плазмових технологій у сільськогосподарське виробництво. Реалізація цих завдань дозволить краще зрозуміти механізми впливу плазмової скарифікації на насіння салату, оптимізувати умови обробки та розробити практичні рекомендації для підвищення ефективності вирощування цієї культури.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 ОБРОБКА ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ

1.1.1 Плазмова скарифікація насіння

Нещодавно вода, активована холодною плазмою (ПАВ), була використана для покращення швидкості проростання різного насіння. Холодна плазма - це зростаюча технологія, яка не містить хімічних речовин і є екологічно чистою. Оброблена плазмою вода, яка також відома як ПАВ, має кислий рівень рН, що викликає зміни окисно-відновного потенціалу та провідності. Крім того, ПАВ утворює активні форми кисню та активні форми азоту. ПАВ має особливі хімічні властивості порівняно з неочищеною водою, що робить його практичним заміником мікробної дезінфекції.

Було досліджено вплив електричного розряду в повітрі та впорскування обробленого повітря у воду на швидкість росту полуниці, шпинату та редиски і спостерігалось збільшення швидкості росту. Створення іонів азоту у воді, які поглинались корінням рослин, в основному спричиняло збільшення росту рослин. Було досліджено обробку насіння *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. холодною плазмою та застосування плазмоактивованої води і зафіксовано ріст рослин. При цьому спостерігали збільшення вмісту нітратів та пероксиду водню у воді.

У цьому дослідженні було використано 260 насінин салату.

Система, що використовувалася в досліді № 1 складалася зі скляної трубки, повітряного насоса, гумової трубки, електрода та алюмінієвого листа як заземлювача. Повітря прокачували через трубку, і між двома електродами

генерувалася плазма. Контейнер з дистильованою водою розміщувався на нагрівачі для її випаровування.

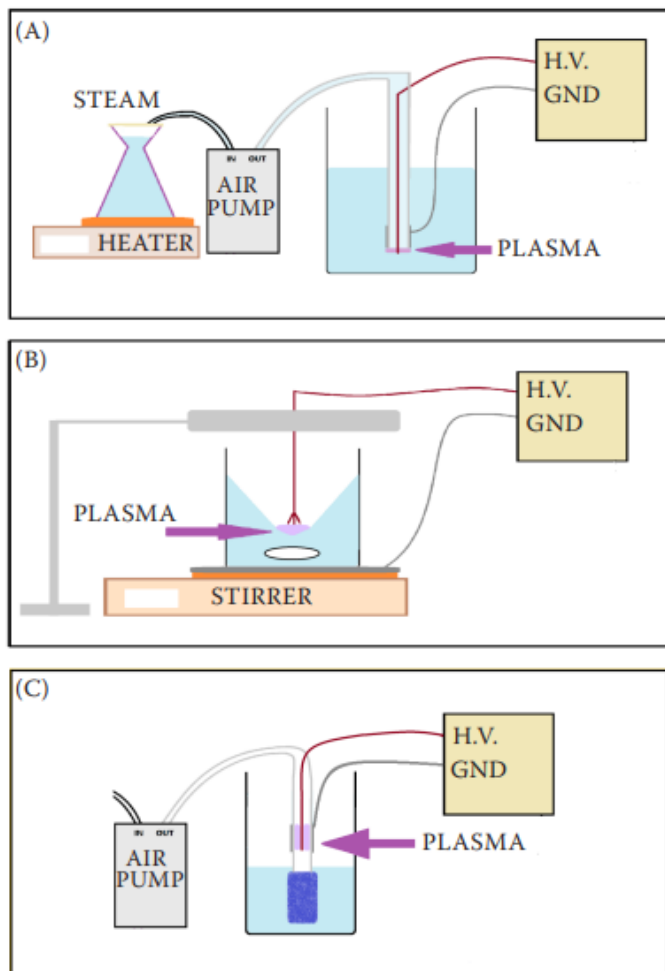


Рисунок 1.1 Системи очищення води за допомогою плазми: (А) отримання плазми з водяної пари та впорскування у воду, (Б) нанесення плазми електричним розрядом на поверхню води та (С) створення плазми на шляху аерації у воду за допомогою повітряного каменю

Виготовлена система, яка використовується в обробці №2 складалася з скляного стакану, магнітної мішалки, дроту як електрода, дрототримача. Обертанням магніту вода перемішувалась, і утворювався невеликий вир в середині контейнера. Металева пластинка під скляною ємністю працює як електрод, з'єднаний із землею, а дріт, який був закріплений за тримач дроту в

центрі гідромасажної ванни працює як електрод високої напруги. Між водою і дротом утворюється плазма.

Система обробки №3 базувалася на методі діелектричного бар'єрного розряду (ДБР). Він складався зі скляної трубки, повітряного насоса, гумової трубки, електродного дроту, повітряного каменю та алюмінієвого листа. Між внутрішнім електродом і діелектриком, який знаходиться на шляху проходження повітря, утворюється плазма

Незначне підвищення температури спостерігалось при кожній обробці. Усім насінням додавали по 3 мл води, отриманої в результаті плазмової обробки, після того, як вода була зрівноважена з температурою навколишнього середовища. Підрахунок пророслого насіння проводили щодня. Дані про проростання були завершені через 6 днів. Через 8 днів фіксували вагу проростків та кількість тих, що мали довжину більше 3 см

Виміряні значення електропровідності, рН та температури води до і після застосування плазми для кожної з процедур наведені в Таблиці 1.1:

Таблиця 1.1

Treatments	Initial EC ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)		Acidity (pH)		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	
	initial	final	initial	final	initial	final
System 1	4.82	69.7	4.98	3.53	27.9	37.9
System 2	4.82	168.7	4.98	3.31	27.9	37.7
System 3	4.82	50.0	4.98	3.98	27.9	26.7
Control	4.82	4.82	4.98	4.98	27.9	27.9

Системи ПАВ були названі наступним чином: отримання плазми з пари та впорскування у воду; нанесення плазми електричним розрядом на поверхню води; генерація плазми на шляху аерації у воду за допомогою повітряного каменю; та контрольний зразок обробки.

Результати показали значне збільшення величини електропровідності у воді, обробленій плазмою, порівняно з контрольною обробкою. рівень рН знизився у

всіх варіантах обробки. Зниження рН пов'язане з утворенням пероксидів водню, азотної кислоти та пероксиазотної кислоти в ПАВ і змінюється від системи до системи. Не виключено, що однією з головних причин більшої ефективності системи 2 є більший об'єм повітря навколо місця утворення плазми та рух води. Температура води збільшилася в системах 1 і 2, але зменшилася в системі 3. Причиною такого незначного зниження температури може бути аерація та відсутність тісного контакту електродів з водою. Зміни відсотка проростання при використанні різних очищених вод представлені на рисунку 1.2. Вплив обробки води плазмою на швидкість проростання насіння салату проілюстровано на рисунку 1.3.

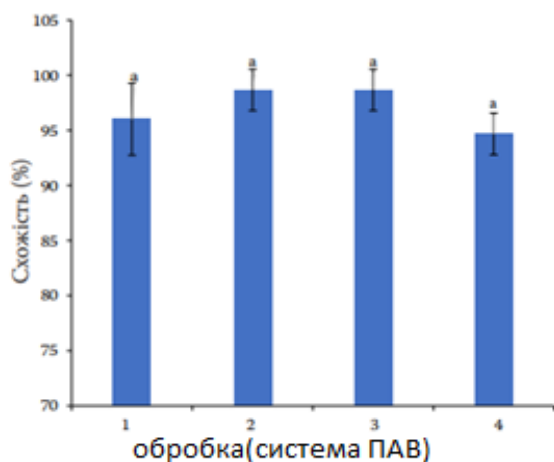


Рисунок 1.2. Вплив обробки води з використанням плазми на відсоток схожості насіння салату (P-value = 0,287).

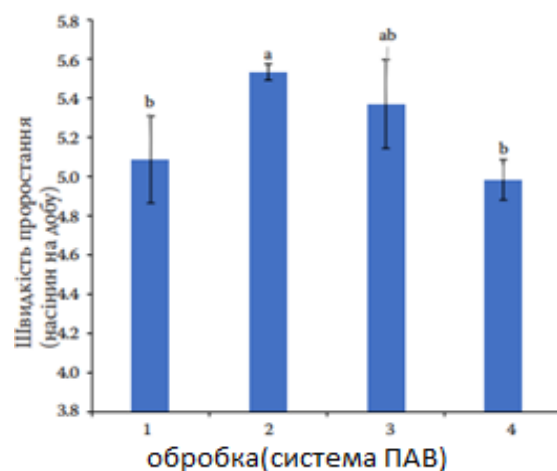


Рисунок 1.3. Вплив обробки води плазмою на схожість насіння салату (P-value = 0,038).

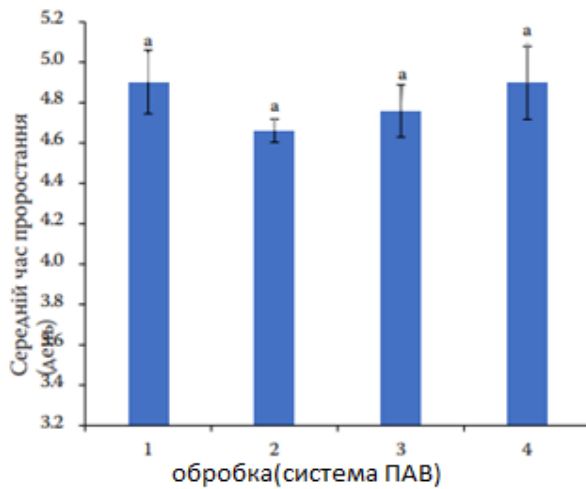


Рисунок 1.4. Вплив обробки води плазмою на середній час проростання насіння салату (P-value = 0,31).

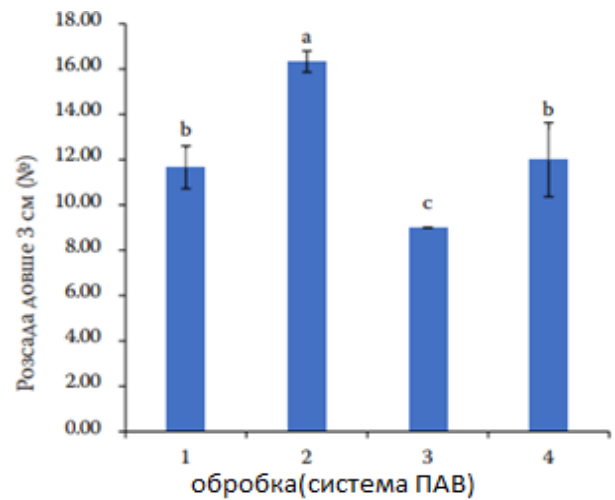


Рисунок 1.5. Вплив обробки води плазмою на висоту розсади салату (кількість проростків довше 3 см) (P-value = 0,0005).

Згідно з рисунком 1.4, не спостерігалось значної різниці в часі проростання насіння. Тоді як системи 2 і 3 скоротили цей період. Зміни маси насіння салату за різних систем генерації ПАВ представлені на рисунку 1.5. Спостерігалось значне розмаїття у вазі насіння при різних способах обробки. У цьому дослідженні електричний розряд на поверхні води збільшив вагу проростків на 18%. [1]

1.1.2 Вплив фізико-хімічних чинників плазми на поверхню

Температура

Температура плазми, зазвичай вимірюється в кельвінах або електронвольтах, і є мірою теплової кінетичної енергії на частинку. Високі температури зазвичай необхідні для підтримки іонізації, яка є визначальною ознакою плазми. Ступінь іонізації плазми визначається температурою електронів відносно енергії іонізації. При низьких температурах іони та електрони мають тенденцію рекомбінувати в зв'язані стани — атоми — і плазма зрештою стане газом. У більшості випадків електрони і важкі частинки плазми (іони і нейтральні атоми) окремо мають відносно чітко визначену температуру, тобто їх функція

розподілу енергії близька до максвеллівської навіть за наявності сильних електричних або магнітних полів. Однак через велику різницю в масі електронів та іонів їх температури можуть відрізнятись, іноді значно. Це особливо часто зустрічається в слабо іонізованій технологічній плазмі, де іони часто знаходяться поблизу температури навколишнього середовища, а електрони досягають тисячі кельвінів.[2]

ROS, RNS та UV-випромінювання

Коли високий електричний розряд застосовується до повітря або водного розчину в камері, активні форми кисню (ROS), утворюють реакційноздатний азот (RNS) і ультрафіолетові (UV) фотони в основному утворюються з плазмового розряду.

ROS, RNS та UV незалежно використовувалися для скарифікації насіння (метод пом'якшення насінневої оболонки, зберігаючи життєздатність насіння), інактивації патогенів, що передаються насінням, та посилення систем антиоксидантного захисту в сільськогосподарських рослинах.

Механізми стійкості до стресу:

Стрес, викликаний плазмою, може бути результатом різних взаємодій між плазмою (наприклад, ROS, RNS та UV) і поверхнею насіння, патогенами, що передаються насінням, і клітинним гомеостазом відповідно. ROS, RNS та UV плазми можуть змінити фізичні та хімічні властивості поверхні насіння перед впливом стресових факторів навколишнього середовища, таким чином дозволяючи насінню бути більш гідрофільним і проникним для води. Нарешті, оброблене плазмою насіння є гідрофільним і має тріщини в оболонці насіння, що сприяє поглинанню води до стресу від посухи. Таким чином, посилення поглинання води може спровокувати швидше проростання і більш ранню енергію розсади, регулюючи ендогенні гормони та гідролітичні ферменти під час просочення та послідовно забезпечуючи поживними речовинами активно зростаючий ембріон. Багато досліджень показали, що застосування екзогенного

ROS, RNS або UV-випромінювання має подібний вплив на насіння, що призводить до підвищення стійкості до стресу перед стресовими подіями. Загалом, індуковані плазмою ROS, RNS та UV можуть сприяти стійкості культур до стресу, регулюючи гідрофільність поверхні, зараження патогенними мікроорганізмами та різноманітні клітинні механізми.[3]

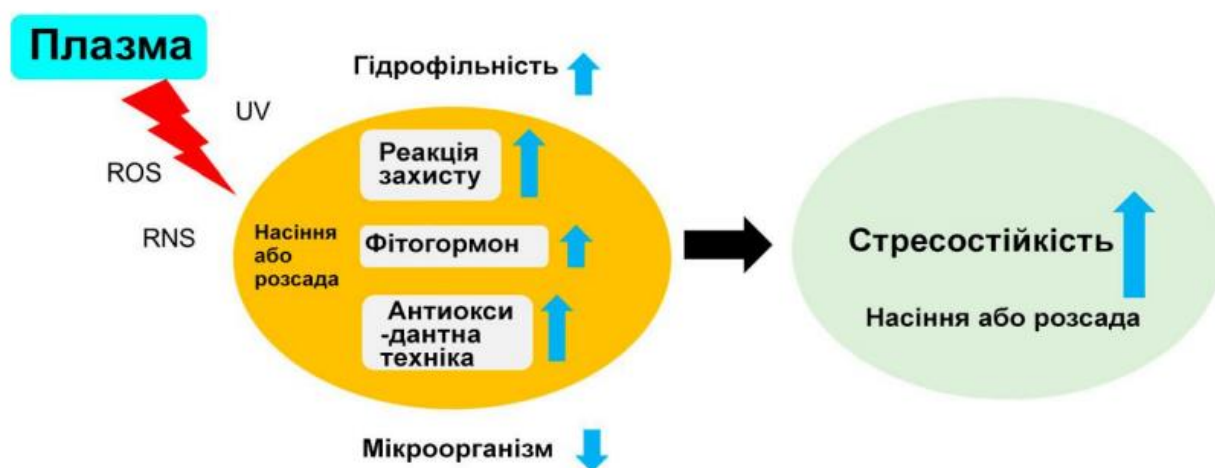


Рис. 1.6. Запропоновані механізми підвищення стресостійкості до стресових факторів навколишнього середовища у оброблених плазмою насіння (або проростків). [4]

Кислоти

Окислюючі речовини, такі як повітря, кисень, водяна пара або закис азоту, часто використовуються як технологічні гази в плазмових системах низького тиску (вакуум) для видалення органічних забруднень і для залишку функціональних кисневмісних груп на поверхні пристрою та/або матеріалу, що обробляється. Ці групи значно покращують зволоження та покращують міцність зчеплення клеїв, чорнил або фарб, стрічок, смоли для інкапсуляції/залівки та покриттів. Для видалення органічного забруднення з субстратів, які можуть бути чутливими до окислення, можна використовувати такі види газу, як водень або метан (часто змішаний з аргоном, гелієм або азотом). Ця хімія також може бути використана для часткового заміщення атомів водню фтору або кисню на поверхні полімерних субстратів. Види благородного газу, такі як аргон або гелій,

є хімічно інертними, тому вони не поєднуються і не стають частиною хімії поверхні. Замість цього вони транспортують енергію для розриву хімічних зв'язків у полімерних ланцюгах. Розірвані полімерні ланцюги призводять до висячих зв'язків, які рекомбінують з іншими реактивними ділянками, що призводить до значної молекулярної реструктуризації та/або зшивання. Створення звисаючих зв'язків дозволяє здійснювати хімічні реакції прищеплення.[5]

Стерилізація

Перше повідомлення про плазму як стерилізуючу речовину було опубліковано Менаші в патенті 1968 року (Menashi, 1968). В апараті використовувалося імпульсне радіочастотне поле для отримання аргонної плазми при атмосферному тиску та стерилізації внутрішньої поверхні флаконів. З цією метою радіочастотне поле було накладено на пляшку прямим дротом, а котушка, обмотана навколо зовнішньої сторони флакона, діяла як електрод порівняння для замикання радіочастотного ланцюга (коронний розряд). Менаші зміг стерилізувати флакони, що містять 10^6 спори за часи менше однієї секунди. Виявилось необхідним, щоб плазма контактувала з внутрішньою поверхнею флакона, і з цієї причини вважалось, що біоцидна дія пояснюється інтенсивним нагріванням спор за короткий час, щоб помітно нагріти скляний контейнер (цей механізм пізніше був названий мікроспаленням).

1.1.3 Скарифікація насінневої оболонки

Насіннева оболонка регулює проростання насіння завдяки своїй товщині та проникності. Тому насіння з товстою оболонкою не здатні швидко поглинати воду, якщо її не скарифікувати. У таблиці 1.2 узагальнено результати скарифікації плазмові обробки насіння залежно від умов обробки джерел плазми, включаючи радіочастотний (RF) розряд, діелектричний бар'єрний розряд (DBD) та інші типи джерел плазми. Потужність (W) і час експозиції (min) є життєво

важливими робочими параметрами для опису сприятливих ефектів окремих елементів плазмової обробки.

Таблиця 1.2 Вплив скарифікації плазмових обробок на насіння широкого спектру сільськогосподарських культур, включаючи зернові, бобові та овочі.

Плазма	Стан обробки				Оптимальний стан	Зернові культури
	Стадія	Середовище	Потужність(W)	Час контакту (min)		
Радіочастотний розряд	Сухе насіння	Газ	20	0-2	-	Пшениця
			50, 100	0-20	100(W)x7(min)	Пшениця
			77-147	0-10	кукурудза: 79(W)x2,5(min) пшениця: 79(W)x5(min)	Кукурудза, пшениця
			40, 60	0-20	60(W)x2(min)	Маш
			20	0,2	20(W)x2(min)	Квасоля
			60-120	0,25	80(W)x0,25(min)	Соеві боби
			100	0,25	100(W)x0,25(min)	Ріпак
			150	0-20	-	Кукурудза, соєві боби
			150	0-20	-	Кукурудза
			150	0,5	-	Редька, горох
			150	0-20	-	Кукрудза, соєві боби, квасоля
Діелектричний бар'єрний розряд	Сухе насіння	Газ	2,7	0-30	2,7(W)x15(min)	Пшениця
			1,5	0-13	1,5(W)x7(min)	Пшениця
			370	0-10	370(W)x2(min)	Горох
	Сухе насіння, вологе насіння		400	0-1,3	400(W)x0,2(min)	Ячмінь

	Суше насі ння		-	0-5	5(min)	Шпінат
Коронни й розряд	Сух е насі ння	Газ	4,8	0,1	4,8(W)x1(min)	Рис
Дугови й розряд	Сухе нас і ння	Газ	400	0,0075	400(W)x0,007 5(min)	Шпінат
Тліючи й розряд	Сух е насі ння	Газ	-	0,1	10(min)	Рис
			60	0-15	60(W)x6(min)	Пшениця
Мікрохвил ьовий розряд	Сухе насі ння	Газ	500	0-40	500(W)x5(mi n)	Пшениця
			60-100	0,25	80(W)x0,25(m in)	Пшениця

1.2 НЕТЕПЛОВІ СТРИМЕРНІ РОЗРЯДИ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ

Специфічні плазмомедичні технології вимагають застосування специфічних джерел плазми, тобто специфічних електричних розрядів. Різні електричні розряди генерують плазми з дуже різними параметрами, включаючи: температуру і густину електронів, іонів і нейтральних частинок; різну густину збуджених і активних атомів і молекул; різну інтенсивність ультрафіолетового та інших видів випромінювання. При класифікації електричних розрядів, що застосовуються в плазмохімії, зручно розрізняти теплові (наприклад, дугові) і нетеплові (наприклад, тліючі) розряди; розряди високого тиску (наприклад, дугові, коронні, діелектричні бар'єрні розряди або ДБР) і розряди низького тиску (наприклад, тліючі); електростатичні розряди (наприклад розряди низького тиску (наприклад, тліючі); електродні розряди (наприклад, дугові, тліючі) і безелектродні розряди (наприклад, індуктивно-зв'язана плазма або радіочастотний ІКП, або радіочастотний і мікрохвильовий); розряди постійного струму і розряди без постійного струму; і самопідтримувані і несамопідтримувані

розряди. Всі ці групи розрядів мають свою нішу біологічних і медичних застосувань. Наприклад, термічні плазмові розряди широко застосовуються для припікання крові, а також для хірургічного розрізання та абляції тканин; холодні розряди атмосферного тиску - для стерилізації, загоєння ран та лікування захворювань.

1.3.1 Стрімери та мікророзряди

Хоча стрімери є елементами іскрового пробою, їх візуальне спостереження часто пов'язане з діелектричним бар'єром (ДБ) і деякими коронними розрядами. Діелектричний проміжок (від 0,1мм до 3см) зазвичай включає один або кілька шарів діелектрика, розташованих на шляху струму між металевими електродами. Типова частота становить 0,05-100кГц, а напруга - близько 10кВ при атмосферному тиску. У більшості випадків ДБР неоднорідні і складаються з численних мікророзрядів, побудованих зі стрімерів і розподілених у розрядному проміжку. Електрони в провідному плазмовому каналі, створеному стрімерами, розсіюються з проміжку приблизно за 40нс, тоді як повільно дрейфуючі іони залишаються там протягом декількох мікросекунд. Осадження електронів з провідного каналу на анодний діелектричний бар'єр призводить до накопичення заряду і запобігає появі нових лавин і стрімерів поблизу, поки катод і анод не поміняються місцями. Звичайна робоча частота ДБР становить близько 20кГц, тому зміна полярності напруги відбувається протягом 25мкс. Після зміни полярності напруги відкладений негативний заряд сприяє утворенню нових лавин і стрімерів у тому ж місці. У результаті утворюється багатопокілінне сімейство стрімерів, яке макроскопічно спостерігається як яскрава просторова локалізована нитка.

1.3.2 Взаємодія стрімерів і мікророзрядів

Взаємний вплив мікророзрядів у ДБР пов'язаний з їхньою електричною взаємодією із залишковими зарядами, що залишилися на діелектричному бар'єрі,

а також з впливом збуджених видів, що генеруються в одному мікророзряді, на формування іншого мікророзряду. Взаємодія стримерів і мікророзрядів відповідає за мікророзрядні патерни ДБР, які можуть мати значний вплив на ефективність плазмової терапії живих тканин. Розглянемо поширення стримерів від анода до катода. Утворені плазмові канали мають чистий позитивний заряд, оскільки електрони залишають проміжок набагато швидше, ніж іони. Залишковий позитивний заряд (разом з осадженим негативним зарядом у випадку діелектричної поверхні) впливає на формування сусідніх сімейств лавин і стримерів і, отже, на формування сусідніх мікророзрядів. Позитивний заряд (або дипольне поле у випадку осадженого негативного заряду) посилює електричне поле в катодній області сусіднього мікророзряду і зменшує електричне поле в анодній області. Оскільки перехід від лавини до стримера залежить переважно від прианодного електричного поля (з якого беруть початок нові стримери), утворення сусідніх мікророзрядів фактично запобігається, і мікророзряди ефективно відштовхуються один від одного. Квазівідштовхування між мікророзрядами призводить до формування ближнього порядку, який пов'язаний з характерною відстанню відштовхування між мікророзрядами. Спостереження цього кооперативного явища залежить від декількох факторів, включаючи кількість мікророзрядів і робочу частоту. Наприклад, коли кількість мікророзрядів недостатньо велика (коли середня відстань між мікророзрядами більша за характерний радіус взаємодії), значної взаємодії між мікророзрядами не спостерігається. Короткий час наростання напруги і значне перенапруження наносекундних імпульсних розрядів може призвести до перекриття стримерів і квазіоднорідності плазми, що особливо важливо в плазмомедичних системах, орієнтованих на безпечну обробку живих тканин.

1.3.3 Коронні та імпульсні коронні розряди

З декількох типів холодних розрядів атмосферного тиску в повітрі, безперервна корона є, мабуть, найвідомішою і найпоширенішою. Безперервна корона - це слабкий світловий розряд, який виникає при атмосферному тиску поблизу гострих точок, країв або тонких дротів, де електричне поле досить велике. Коронні розряди завжди неоднорідні: сильне електричне поле, іонізація і світіння розташовані поблизу одного електрода. Заряджені частинки перетягуються слабкими електричними полями від одного електрода до іншого, замикаючи електричний ланцюг. На початкових стадіях пробною ланцюг корони замикається струмом зміщення, а не транспортуванням заряджених частинок. Збільшення потужності корони безпереходу до іскріння стає можливим за рахунок використання імпульсно-періодичних напруг. Імпульсна корона є одним з перспективних нетеплових стримерних розрядів атмосферного тиску. Швидкість стримера становить близько 10^8 см/с⁻¹ і перевищує типову швидкість дрейфу електронів у лавині в 10 разів. Якщо відстань між електродами становить близько 1-3 см, то загальний час, необхідний для розвитку лавини, переходу лавини в стример і поширення стримера між електродами, становить близько 100-300 нс. Тому імпульси напруги такої тривалості здатні підтримувати стримери і ефективно передавати енергію в нетеплову плазму без перетворення стримерів в іскри. Слід зазначити, що навіть безперервні корони характеризуються нестационарними ефектами, включаючи затримку запалювання, спалахи. Для імпульсних коронних розрядів ключовим моментом є розробка імпульсних джерел живлення, що генерують достатньо короткі імпульси напруги з крутим фронтом і коротким часом наростання. Наносекундні імпульсні джерела генерують імпульси тривалістю 100-300 нс, достатньо короткі, щоб уникнути переходу корони в іскру. Джерело живлення має забезпечувати високу швидкість наростання напруги ($0,5-3$ кВ нс⁻¹), що призводить до вищої напруги коронного запалювання і більшої потужності. Високі швидкості

наростання напруги також призводять до підвищення ефективності деяких плазмохімічних і плазмомедичних процесів, що вимагають більш високих енергій електронів. У таких процесах високі значення середньої енергії електронів необхідні для зменшення частки потужності розряду, що йде на коливальне збудження молекул, яке стимулює іонізацію, електронне збудження і дисоціацію молекул. Джерела живлення наносекундних імпульсів, що використовуються для імпульсних корон, включають генератори Маркса, прості та обертові іскрові проміжки, тиратрони, тиристри з можливим подальшим магнітним стисненням імпульсу та спеціальні транзистори для генерації високовольтних імпульсів. Імпульсна корона може бути відносно потужною і досить яскравою.

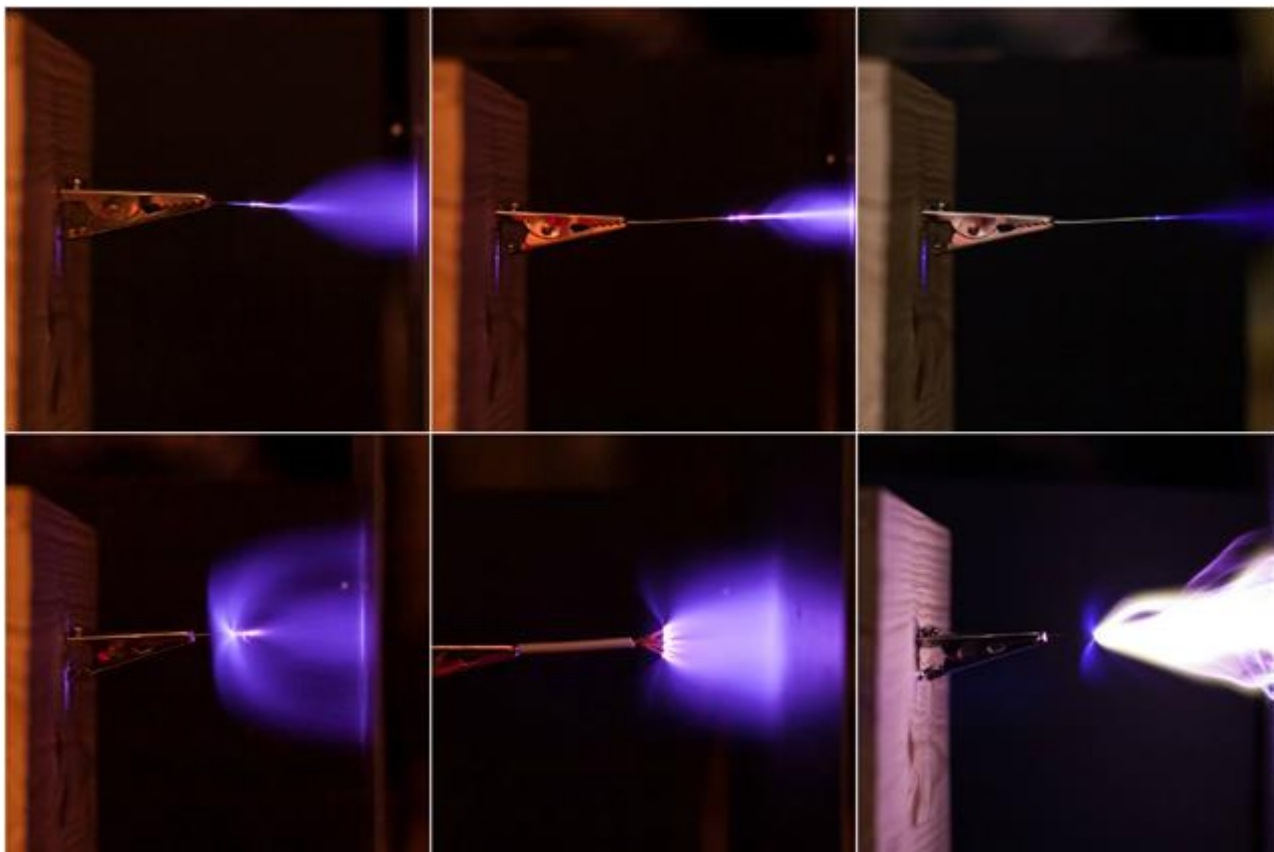


Рисунок 1.7 Коронний розряд

1.3.4 Діелектричні бар'єрні розряди (ДБР)

Перехід від корони до іскри в імпульсній короні запобігається за допомогою наносекундного імпульсного джерела живлення. Інший підхід до запобігання іскроутворенню в стримерних каналах базується на використанні діелектричного бар'єру в розрядному проміжку, який зупиняє струм і запобігає іскроутворенню. Такий розряд називається діелектричним бар'єрним розрядом (ДБР). Наявність діелектричного бар'єру унеможливорює роботу ДБР на постійному струмі, який зазвичай працює на частотах 0,05-500 кГц. Іноді ДБР називають тихими розрядами через відсутність іскор, які супроводжуються локальним перегрівом, генерацією локальних ударних хвиль і шумом.

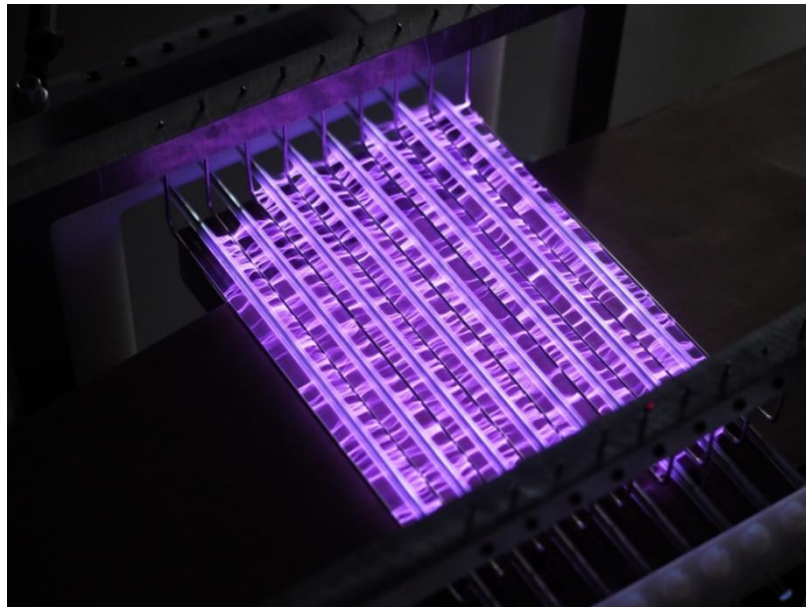


Рисунок 1.8 Діелектричний бар'єрний розряд

ДБР має численні застосування, оскільки працює в сильно нерівноважних умовах при атмосферному тиску різних газів, включаючи повітря, при досить високих рівнях потужності і (на відміну від імпульсної корони) без використання складних імпульсних джерел живлення. ДБР широко застосовується для генерації озону, в УФ-джерелах і ексимерних лампах, в обробці полімерів (зокрема, для покращення змочуваності, здатності до друку і адгезії), в плазмових панелях (включаючи плазмові телевізори), а останнім часом все більше і більше

для біологічних і медичних застосувань. ДБР може виникати в ряді окремих крихітних каналів пробою, так званих мікророзрядів, і інтенсивно досліджується його взаємозв'язок зі стримерами. Проміжок ДБР включає один або більше діелектричних шарів, які розташовані на шляху струму між металевими електродами.

1.3.5 Радіочастотний розряд

Радіочастотні розряди є важливою складовою плазмової технології та мають широкі застосування в різних галузях, включаючи виробництво напівпровідникових пристроїв, плазмову обробку матеріалів, медичні застосування та наукові дослідження. У даному дослідженні буде проведений огляд радіочастотного розряду, його основні характеристики, принципи дії та застосування.

Радіочастотний розряд (РЧ-розряд) - це тип електричного розряду, який виникає в газі під впливом електромагнітного поля з радіочастотною частотою. На відміну від дугового або іскрового розрядів, РЧ-розряди не потребують електродів, що безпосередньо контактують з газом.

РЧ-розряд виникає через іонізацію газу електронами, які розганяються під дією електричного поля. Ці електрони, зіткнувшись з молекулами газу, можуть іонізувати їх, що призводить до лавиноподібного збільшення кількості заряджених частинок. Для підтримки РЧ-розряду необхідне постійне джерело енергії у вигляді радіочастотного випромінювання.

РЧ-розряди мають ряд унікальних властивостей, які роблять їх корисними для різних застосувань:

Висока інтенсивність світіння: РЧ-розряди можуть генерувати інтенсивне світіння в широкому діапазоні спектру, включаючи видиме, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання.

Контрольована іонізація: РЧ-розряд може бути чітко контрольований за допомогою частоти, потужності та форми РЧ-випромінювання.

Низька температура: РЧ-розряди зазвичай мають низьку температуру плазми, що робить їх безпечними для роботи з чутливими матеріалами.

Відсутність електродів: РЧ-розряди не потребують електродів, які безпосередньо контактують з газом, що робить їх стійкими до ерозії та корозії.

РЧ-розряди використовуються в широкому спектрі пристроїв та технологій, включаючи:

Лампи денного світла: РЧ-розряди використовуються для генерування світла в люмінесцентних лампах та світлодіодних лампах.

Плазмові обробники: РЧ-розряди використовуються для обробки поверхонь матеріалів, таких як травлення, очищення та нанесення покриттів.

Аналітичні інструменти: РЧ-розряди використовуються в спектроскопії та мас-спектрометрії для аналізу складу матеріалів.

Медичні пристрої: РЧ-розряди використовуються в хірургії та терапії для лікування різних захворювань.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

В цьому дослідженні досліджували потенційне застосування ПАВ, що генерується за допомогою коронного розряду та діелектричного коронного розряду на проростання насіння Кресс салату мікрозелені та Золота куля.

Як наслідок, плазмова обробка може посилити або послабити активізацію насіння та встановлення розсади. Проростання насіння та ранній ріст розсади є найбільш чутливими етапами росту культури до широкого спектру стресових факторів навколишнього середовища. Після того, як стресори впливають на насіння або рослини на ранніх стадіях росту, вони можуть відстрочити початок, знизити швидкість і зменшити рівномірність проростання та появи сходів. Рисунок 2.1 Порівняння плазмової технології та традиційних методів обробки з трьома факторами, що впливають на активізацію насіння та формування ростків: 1) скарифікація насіння, 2) інактивація патогенів 3) покращені клітинні антиоксидантні системи.

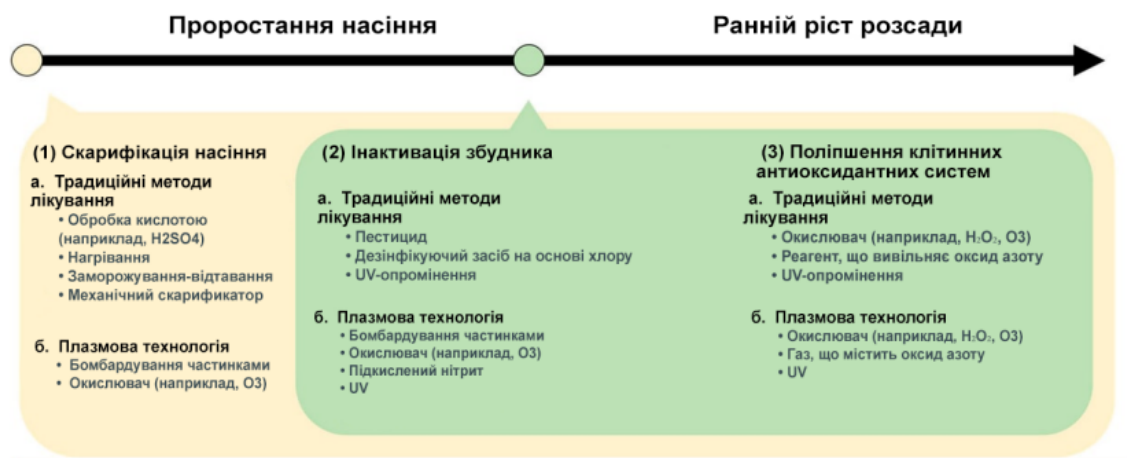


Рис. 2.1 Порівняння плазмової технології та традиційних методів обробки з трьома факторами, що впливають на активізацію насіння та формування ростків: 1) скарифікація насіння, 2) інактивація патогенів 3) покращені клітинні антиоксидантні системи.

2.1 Опис експериментальної установки

Коронний розряд

Схему та експериментальну установку, що використовувалася в даному дослідженні, показано на рисунку 2.2. Установка складається вольфрамової голки(150мкм), яка знаходилася на відстані 1см від поверхні оброблюваної води, нержавіючого кільця(радіус 6мм), заземленого кільця, двох мультиметрів та блоку живлення. Струм і напруга, які використовувались під час експерименту, дорівнюють 5-35мкА і 3-6кВ відповідно. ВАХ зображено в таблиці 2.1.

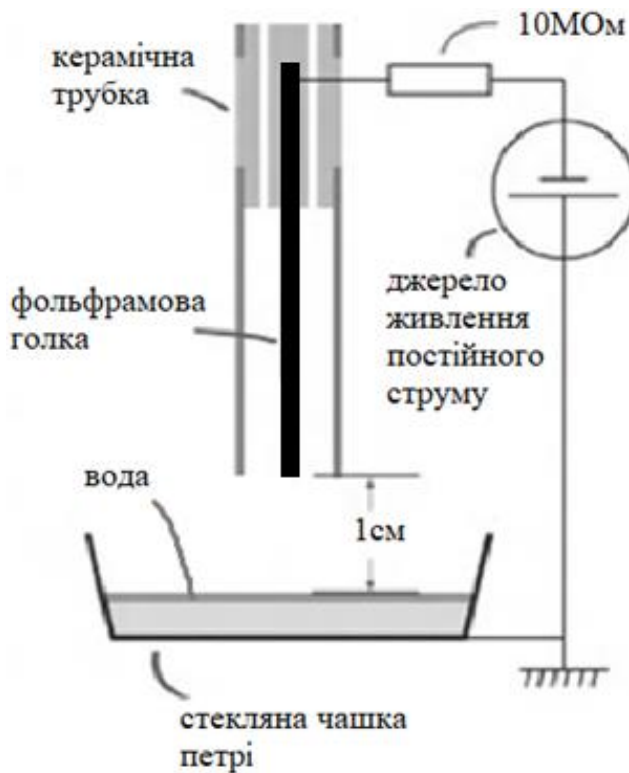


Рисунок 2.2. (а)Схема установки, (б) експериментальна установка.

Таблиця 2.1. Вольт-амперна характеристика.

I мкА	3.5	7.85	15	20	25	30	40
U кВ	3.35	4	4.8	5.2	5.5	5.8	6.3
P мВт	11.725	31.4	72	104	137.5	174	252

Діелектричний бар'єрний розряд

Експериментальну установку, що використовувалася в даному дослідженні, показано на рисунку 2.3. Установка складається з двох електродів: мідний круг(діаметр 30мм) та поперечних мідних електродів(0.5мм); двох блоків живлення Струм і напруга, які використовувались під час експерименту, дорівнюють 0.35А і 2.8В відповідно, установка працює на частоті 4Гц. Під час експерименту воду обробляли плазмою з періодами експозиції: 2хв, 5хв, 10хв. ВАХ зображено в таблиці 2.2.

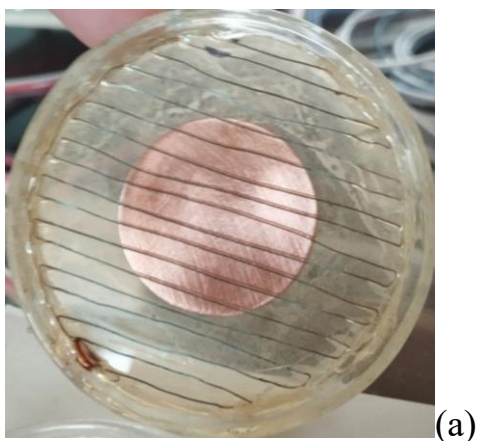




Рисунок 2.3. (а)Електроди; (б)блоки живлення.

Таблица 2.2. Вольт-амперна характеристика.

I A	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
U В	1	2	2.3	3	3.5	4.2	5	5.8	6
P Вт	0.1	0.4	0.69	1.2	1.75	2.52	3.5	4.64	5.4

2.2 Хід роботи

ЕКСПЕРИМЕНТ 1

У цьому дослідженні обробляли коронним розрядом насіння Кресс салату мікрозелені. Використовували дистильовану воду(кімнатної температури), 21 чашка Петрі діаметром 35мл, 3 чашки Петрі бмл, 2 шприци об'ємом 20мл, 1 шприц 5мл.

Спочатку беремо шприц об'ємом 20мл промиваємо його, потім набираємо 10 мл дистильованої води і виливаємо в скляну чашку Петрі радіусом 60мл, яку ставимо в експериментальну установку та обробляємо 2хв, 5хв та 10хв. Потім беремо шприц 5мл і ним розливаємо по 3 мл плазмаактивованої води, в 3 чашки Петрі об'ємом 35 мл. Цю дію повторюємо ще двічі, але з періодом експозиції 5хв та 10хв. Потім цей експеримент повторюємо з насінням і водою, обробляємо насіння і воду в плазмі 2хв, 5хв, 10хв. Оброблені зразки поміщуємо на підніс і ставимо в тепле приміщення, щоб сонячне проміння потрапляло на зразки. Зразки зображені на рисунку 2.4.

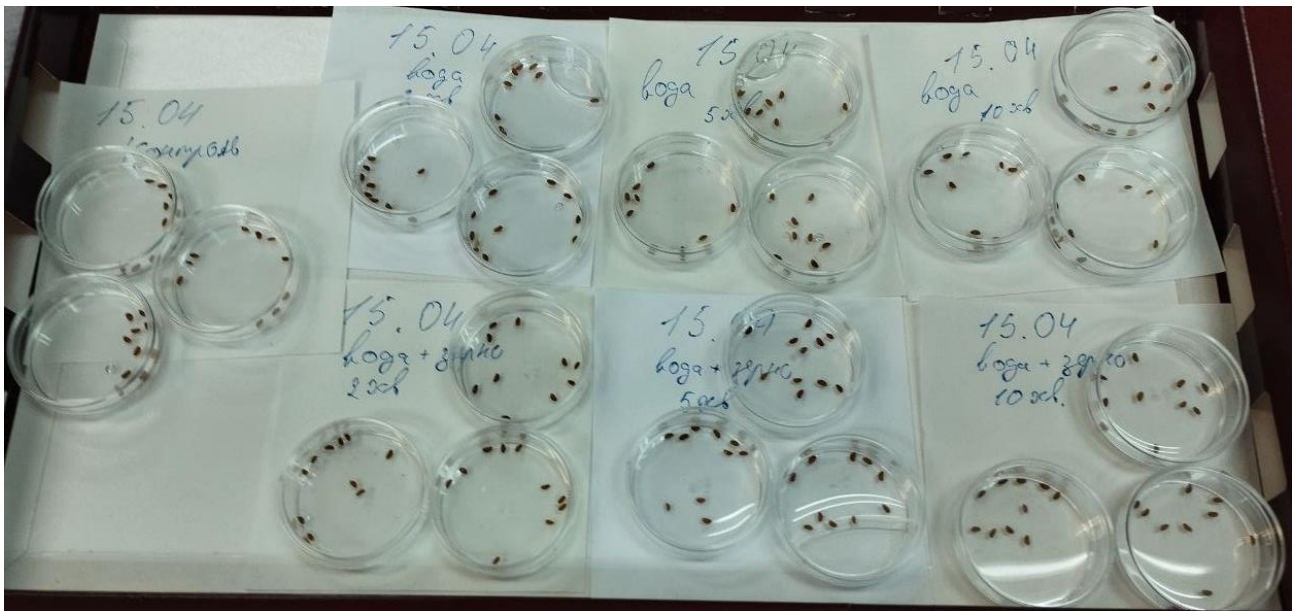


Рисунок 2.4. Зразки після обробки.

Дані експерименту знімалися кожні 17год та 24год від початку експерименту. У цьому експерименті обробляли воду та воду з насінням 2,5,10хв при потужності 100мВт.

17годин після обробки

Кількість насінин які проросли зображено на рисунку 2.5(a).

На рисунку 2.6 та 2.7 зображено зразки які проросли.

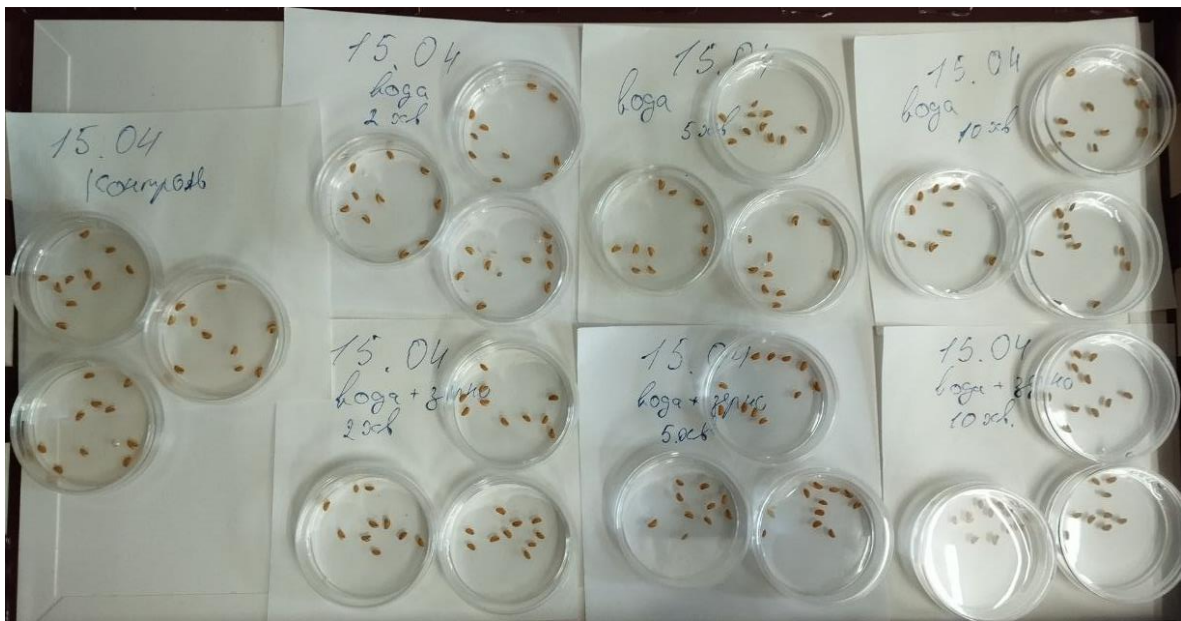


Рисунок 2.6. Зразки через 17годин після обробки



Рисунок 2.7.

24години після обробки

Видимі проключення є у всіх зразках. У зразку «Вода+Насіння» майже всі насінини проросли, слабкий зріст порівняно з іншими зразками. У зразку «Вода» всі насінини проросли. Найкращим зразком залишається «Контроль».

1день 17годин після обробки

У контрольному(дистильована вода) зразку паростки розміром від 3мм до 6мм. У зразку «Вода» паростки розміром від 2мм до 4мм. Зразок «Вода + Насіння» проріс найгірше, паростки розміром від 2мм до 3мм. Зразки зображені на рисунку 2.8.

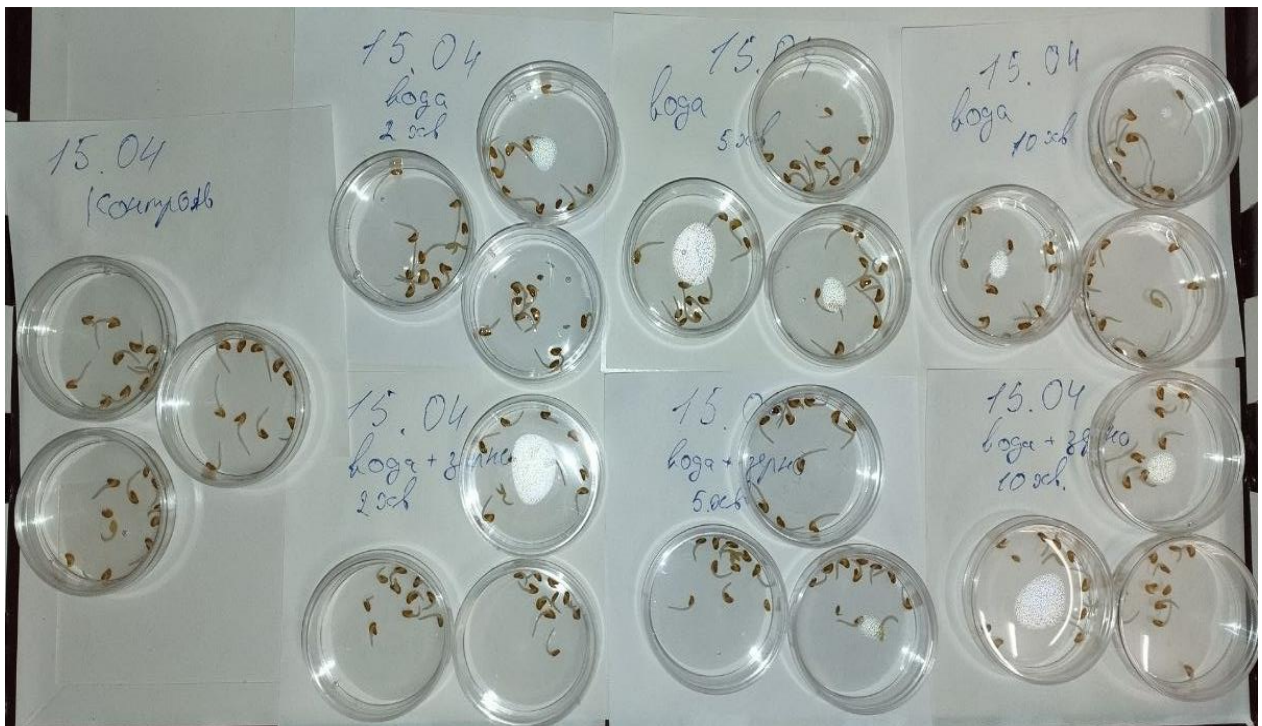


Рисунок 2.8. Зразки через 1 день 17годин після обробки.

2дні після обробки

На рисунку 2.5(б) показано кількість перших видимих листків салатого кольору.

З рисунку 2.5(б) видно, що найбільшу кількість листків має зразок «Вода» хоч і ріст в перший день був не найкращий порівняно із зразком «Контроль», який показав кращий ріст. Найгіршим зразком залишається «Вода+Насіння». Зразки зображені на рисунку 2.9.

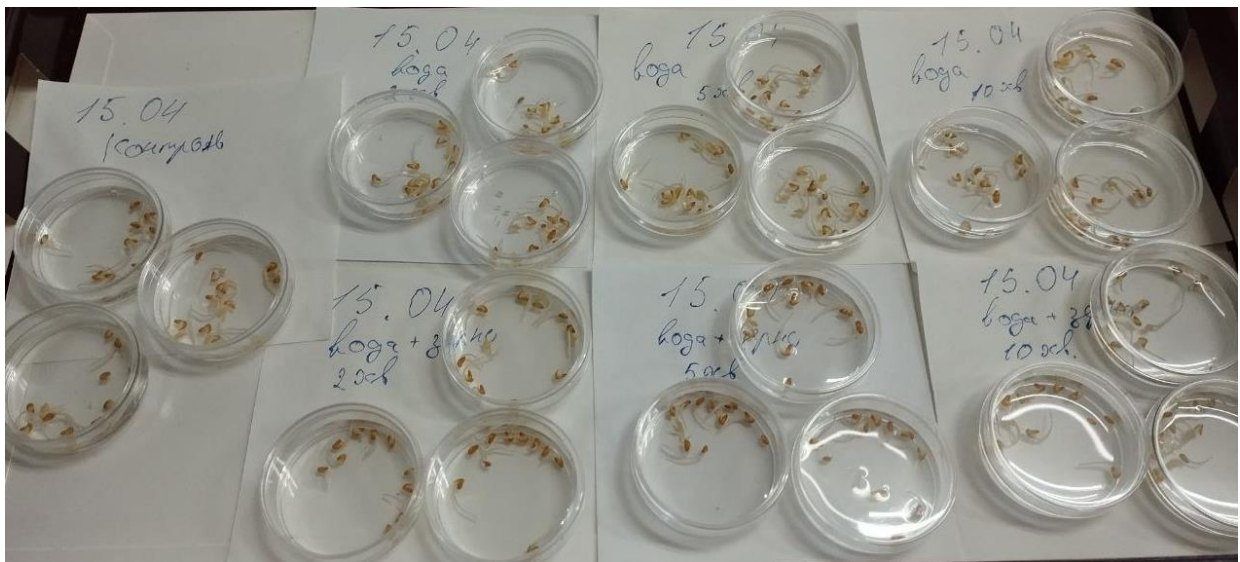


Рисунок 2.9. Зразки через 2 дні після обробки.

2 дні 17 годин після обробки

Кількість паростків з листками зображена на рисунку 2.5(в).

На рисунку 2.5(в) видно, що зразок «Вода+Насіння» показує найгірший ріст.

Зразки «Вода» більш зеленого кольору ніж інші зразки.

3 дні після обробки

Листя з'явилося у всіх зразках. Найкращий результат показує зразок «Вода», який має найбільш зелені листочки.

3 дні 17 годин після обробки

Найкращим зразком є «Вода», паростки піднялися вгору і мають зелене листя.

Зразок «Контроль» має зелене листя, пагони тільки-тільки почали підніматися.

Найгірший зразок «Вода+Насіння», є кілька зелених паростків, а решта салатого кольору, найгірший ріст. Зразки зображені на рисунку 2.10.

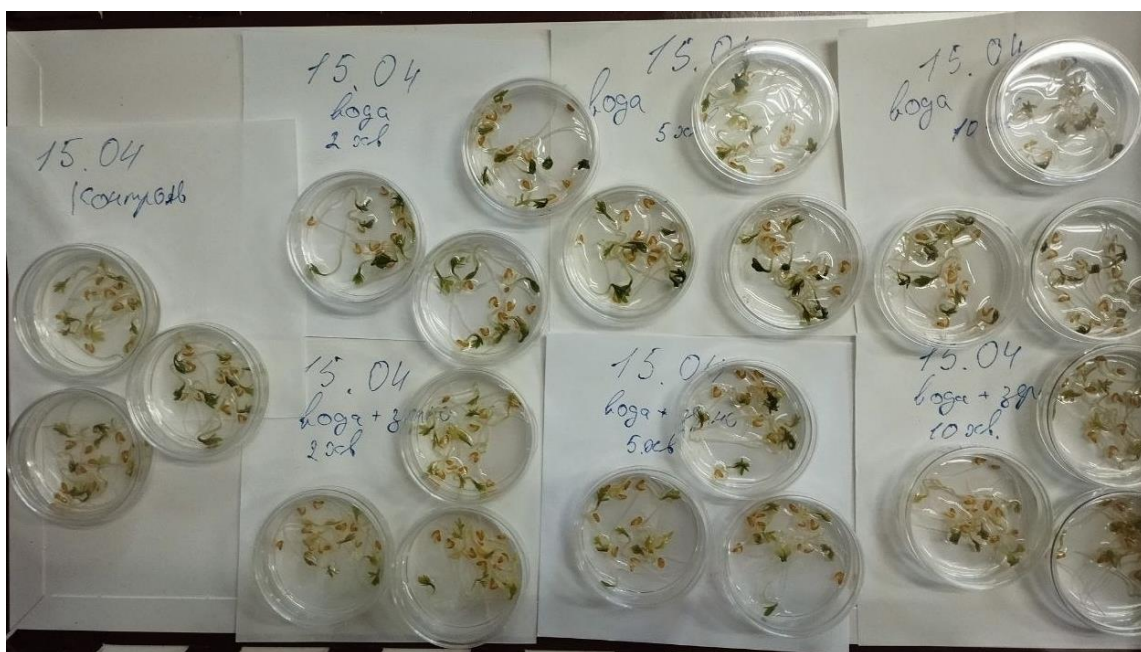


Рисунок 2.10. Зразки через 3 дні 17 годин після обробки.

6 днів 18 годин після обробки

Всі паростки мають зелене листя. Зразок «Вода», який оброблявся 5хв проріс найкраще з поміж всіх зразків. Зразок «Контроль» показує стабільний ріст як і зразки «Вода» які оброблялися 2хв та 10 хв. Зразок «Вода»: паростки піднімаються в гору, є кілька паростків довжиною до 2.5см. Зразки «Вода+Насіння» почали інтенсивно рости, деякі паростки піднялися в гору на 2.5см. Всі зразки зображені на рисунку 2.11.

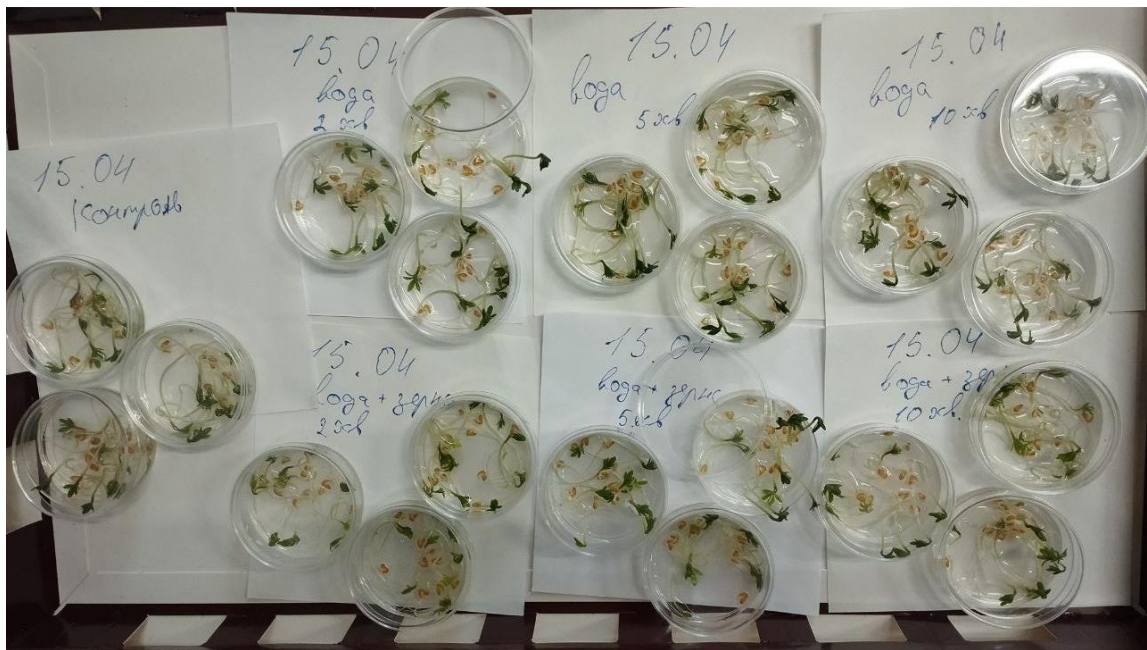


Рисунок 2.11. Зразки через бднів 18годин після обробки.

Через 14 днів насіння посадили в землю, паростки добре прийнялися та продовжують рости. На 24 день майже всі зразки «Контроль» загинули. Зразок «Вода» виглядає найкраще, має найбільше пророслих паростків. Зразок «Вода+Насіння» має меншу кількість паростків ніж зразок «Вода». Зразки зображені на рисунку 2.12.



Рисунок 2.12. Зразки на 24 день після обробки.

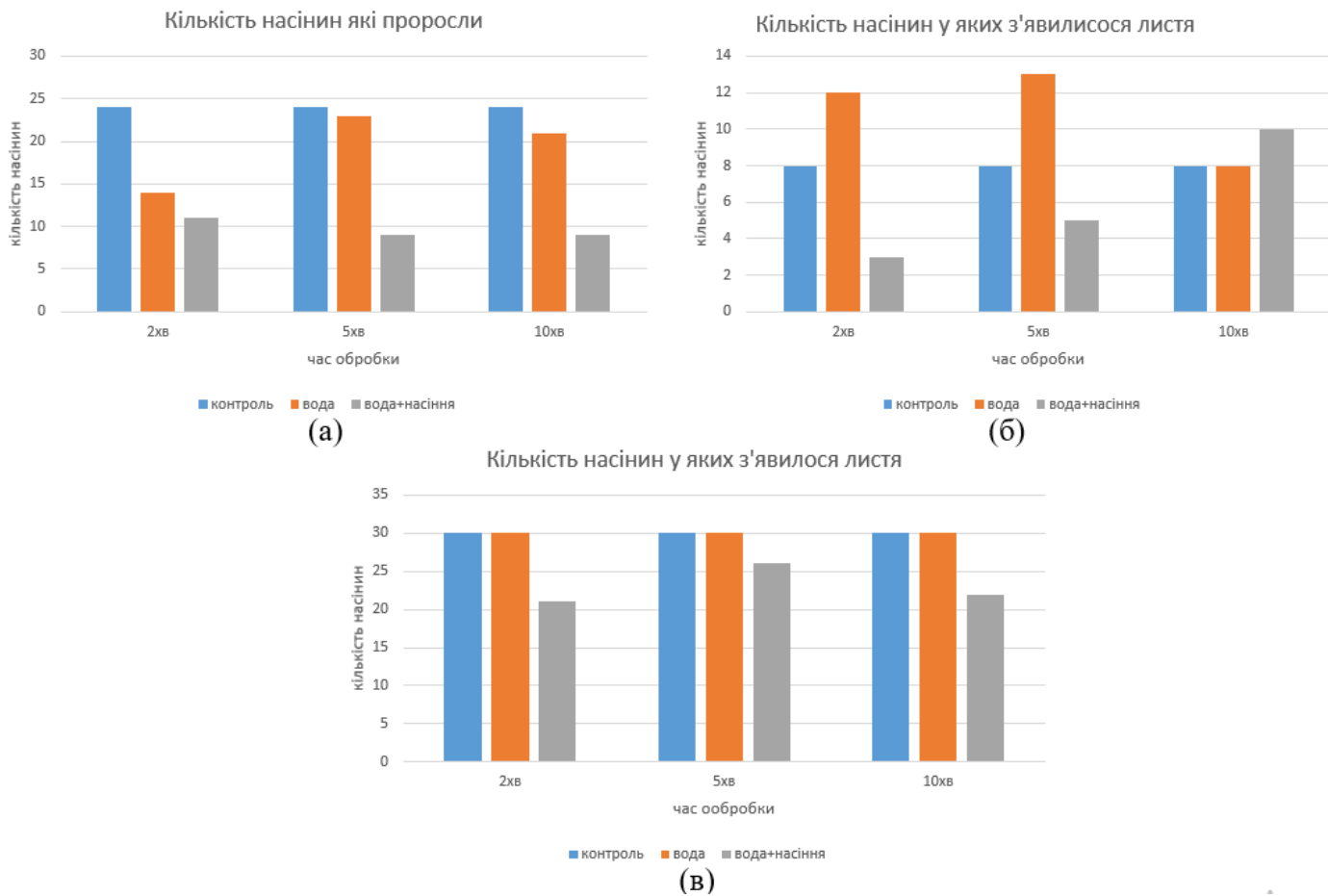


Рисунок 2.5 насіння Кресс салату при обробці коронним розрядом 2,5,10хв при потужності 100мВт: (а) кількість насінин які проросли через 17 годин після експерименту; (б) кількість перших видимих листків салатого кольору через 2 дні після обробки; (в) кількість паростків з листками через 2дні 17годин після обробки.

ЕКСПЕРИМЕНТ 2

У цьому дослідженні обробляли воду та воду з насіння коронним розрядом при потужності 20мВт, 100мВт, 200мВт, при часу обробки 5хв, коронним розрядом.

5годин після оброки

Зразок «Контроль» має 2 маленьких паростки. Зразки «Вода+Насіння» при потужності 20мВт і 200мВт мають один маленький паросток.

1день 2години після обробки

У зразках з'явилися паростки розміром до 2 мм, видимої різниці між зразками не має. Кількість зразків у яких з'явилися паростки зображено на рисунку 2.13(а).

2дня 3години після обробки

Зразок «Контроль», «Вода» P(100) та «Вода+Насіння» P(100) мають 2 не пророслих паростка, всі інші зразки проросли повністю. В таблиці 2.3 зображено розміри паростків які проросли.

Таблиця 2.3. Розміри паростків які проросли.

Потужність	P(20)	P(100)	P(200)
Вода	4-5мм	4-6мм	3-5мм
Вода+Насіння	3-4мм	2-4мм	2-4мм
Контроль	1-5мм	1-5мм	1-5мм

2дня 9годин після обробки

«Вода» P(200) зразки ростуть гірше за інші, пагони менші і блідніші. Зразок «Вода+Насіння» P(20) показує поганий ріст. Кількість насінин у яких з'явилося листя зображена на рисунку 2.13(б).

3дня 4години після обробки

На рисунку 2.13(в) зображено кількість насінин які мають листя салатого кольору.

3дня 10годин після обробки

Зразки «Вода» P(20) і P(100), «Вода+Насіння» P(200) зеленішого кольору ніж інші зразки, які мають салативий колір. Зразки зображені на рисунку 2.14.

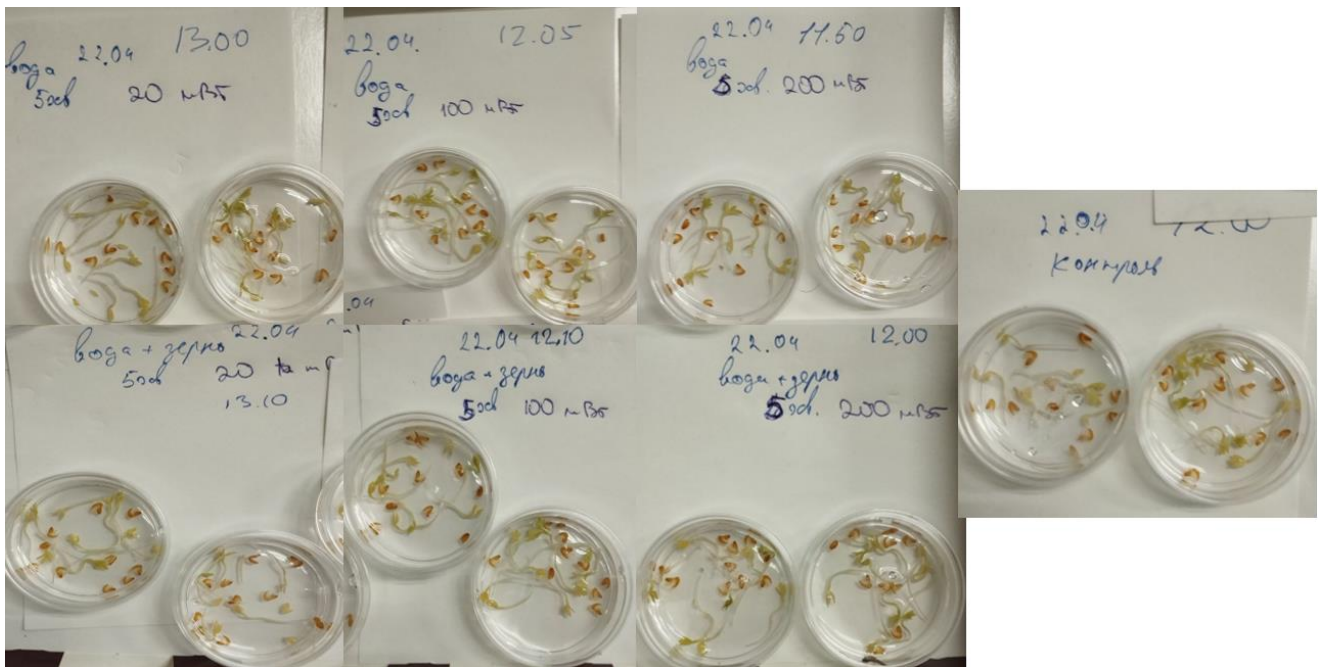


Рисунок 2.14. Зразки через 3 дня 10 годин після обробки.

4 дня 4 години після обробки

Зразки «Вода+Насіння» P(100) і P(200) почали підніматися в гору. На рисунку 2.13(г) зображено кількість насінин які мають зелене листя. З графіка видно, що найбільша різниця спостерігається при потужності 100, насіння показує найкращий ріст порівняно з контролем.

7 днів 1 година після обробки

Всі зразки мають зелене листя. Візуально кращими зразками є «Вода», паростки найбільш розвинені на відміну від інших. Зразки зображені на рисунку 2.15.

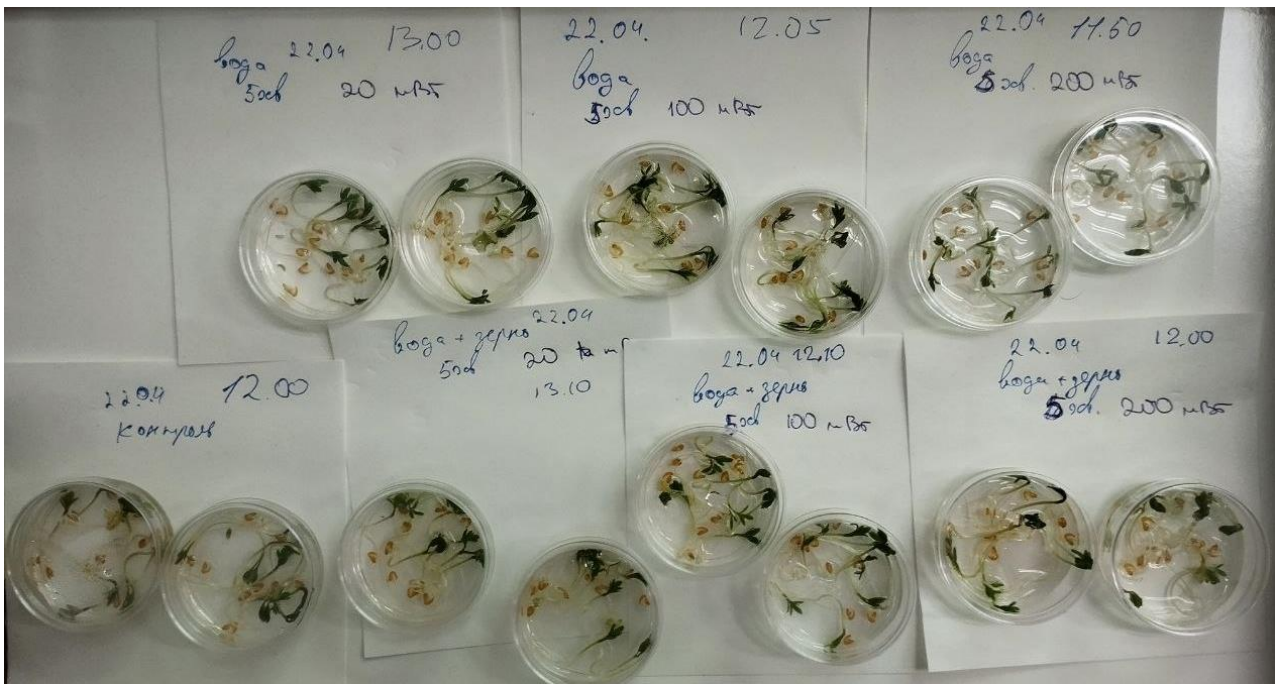


Рисунок 2.15. Зразки через 7 днів 1 годину після обробки.

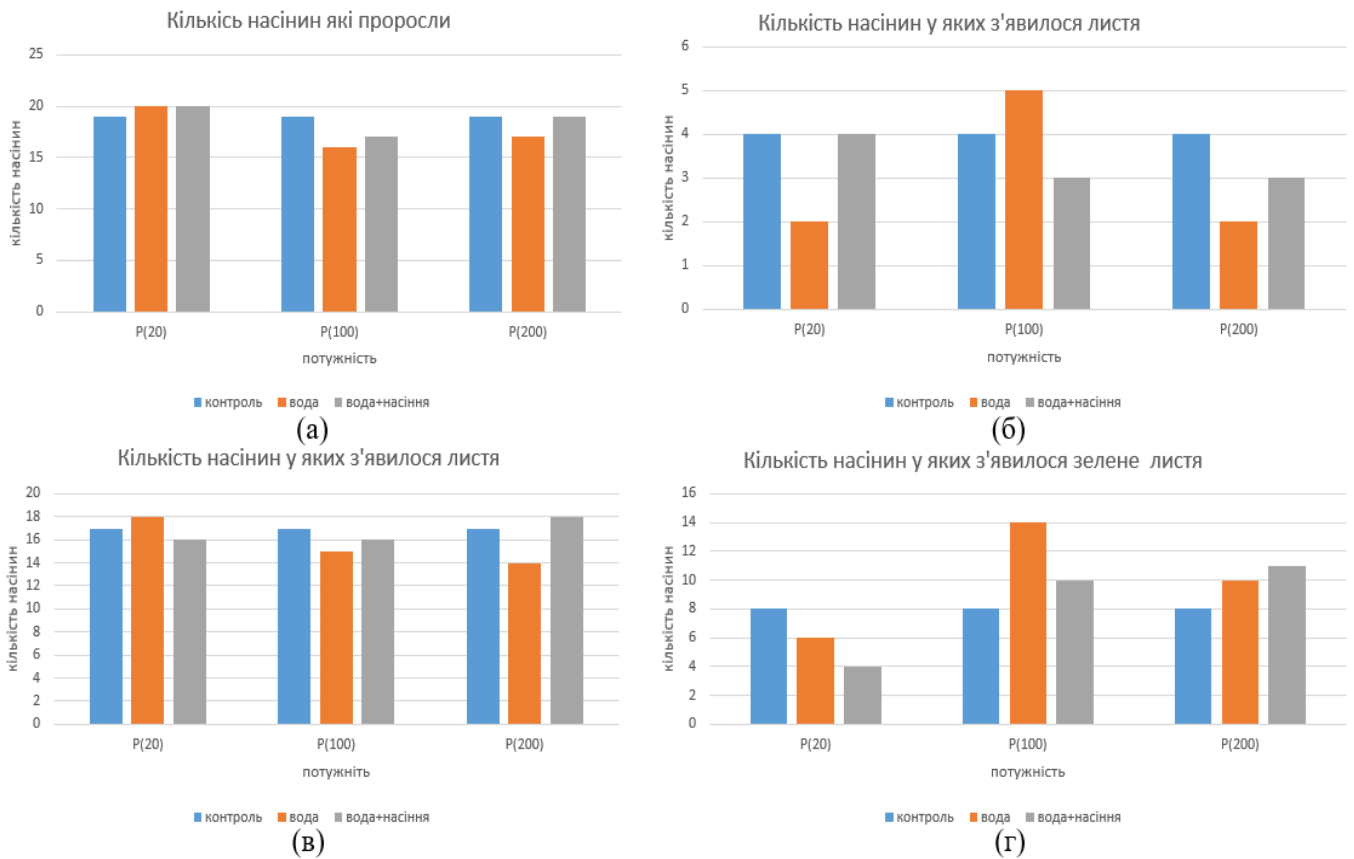


Рисунок 2.13 насіння Кресс салату при обробці коронним розрядом 5хв при потужності 20,100,200мВт (а) Кількість насінин які проросли через 1 день

2 години після обробки; (б) Кількість насінин у яких з'явилося листя через 2 дня
9 годин після обробки; (в) кількість насінини у яких з'явилося листя через 3 дня
4 години після обробки; (г) Кількість насінин які мають зелене листя через 4 дня
4 години після обробки.

ЕКСПЕРИМЕНТ 3

У цьому дослідженні обробляли воду коронним розрядом при потужності
20мВт, 100мВт, 200мВт, при часу обробки 2хв, коронним розрядом.

18 годин після обробки

Паростки розміром до 1мм, видимої різниці не має. Кількість насінин які
проросли зображена на рисунку 2.16(а).

2 дня після обробки

Зразок «Контроль»: дві насінини тільки почали проростать, всі інші мають
паростки розміром від 1 до 4мм.

Зразок «P20»: дві насінини показують поганий ріст, паростки розміром від 1 до
4мм.

Зразок «P100»: все насіння проросло , паростки розміром від 2 до 5мм.

Зразок «P200»: всі насіння проросло, паростки розміром від 2 до 5мм, один
паросток має невеликі листочки.

2 дня 6 годин після обробки

Зразок «Контроль»: дві насінини показують поганий ріст. Кількість насінин які
мають листочки зображена на рисунку 2.16(б).

3 дня після обробки

Зразок «P100»: у деяких листочків з'явився зеленуватий колір, всі інші мають
більш салатний. Кількість насінин у яких з'явилися листочки зображена на
рисунку 2.16(в).

3 дня 5 годин після обробки

Зразок «P20»: з'явилося декілька листочків зеленого кольору.

Зразок «P100»: листочки почали зеленіти, пагони піднімаються в гору.

Зразок «P200»: листочки все ще салатого кольору, слабкий ріст.

Зразки зображені на рисунку 2.17.

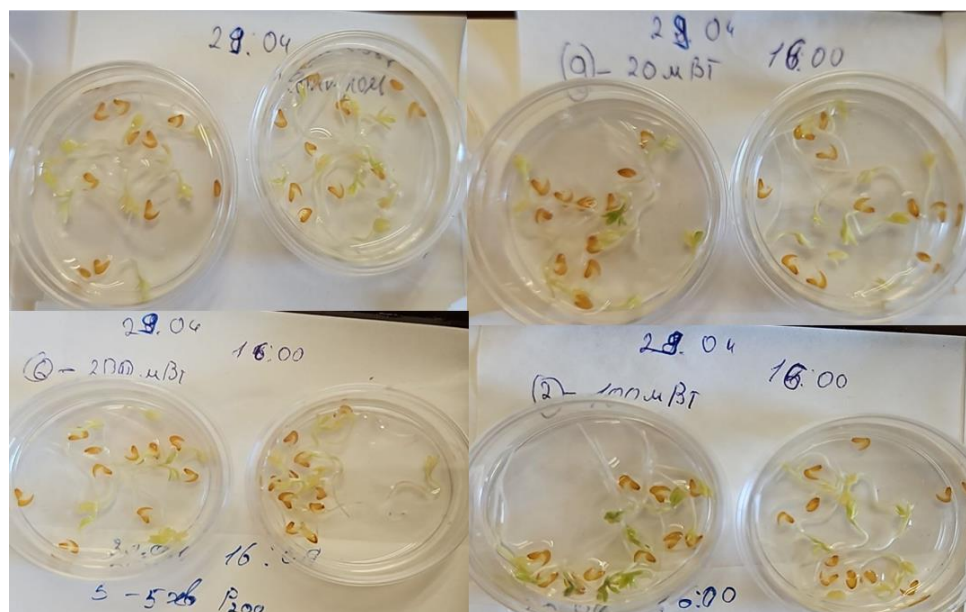


Рисунок 2.17. Здня 5годин після обробки

8днів після обробки

Всі зразки мають зелене листя. Візуально найкращим зразком є зразок оброблений при потужності 100мВт, візуально зразки «Контроль» та «P20» нічим не відрізняються. Всі зразки зображені на рисунку 2.18.

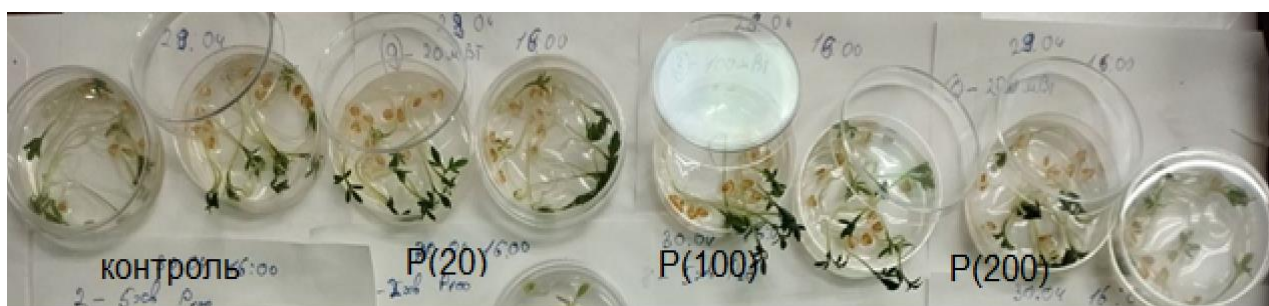


Рисунок 2.18. 8днів після обробки.

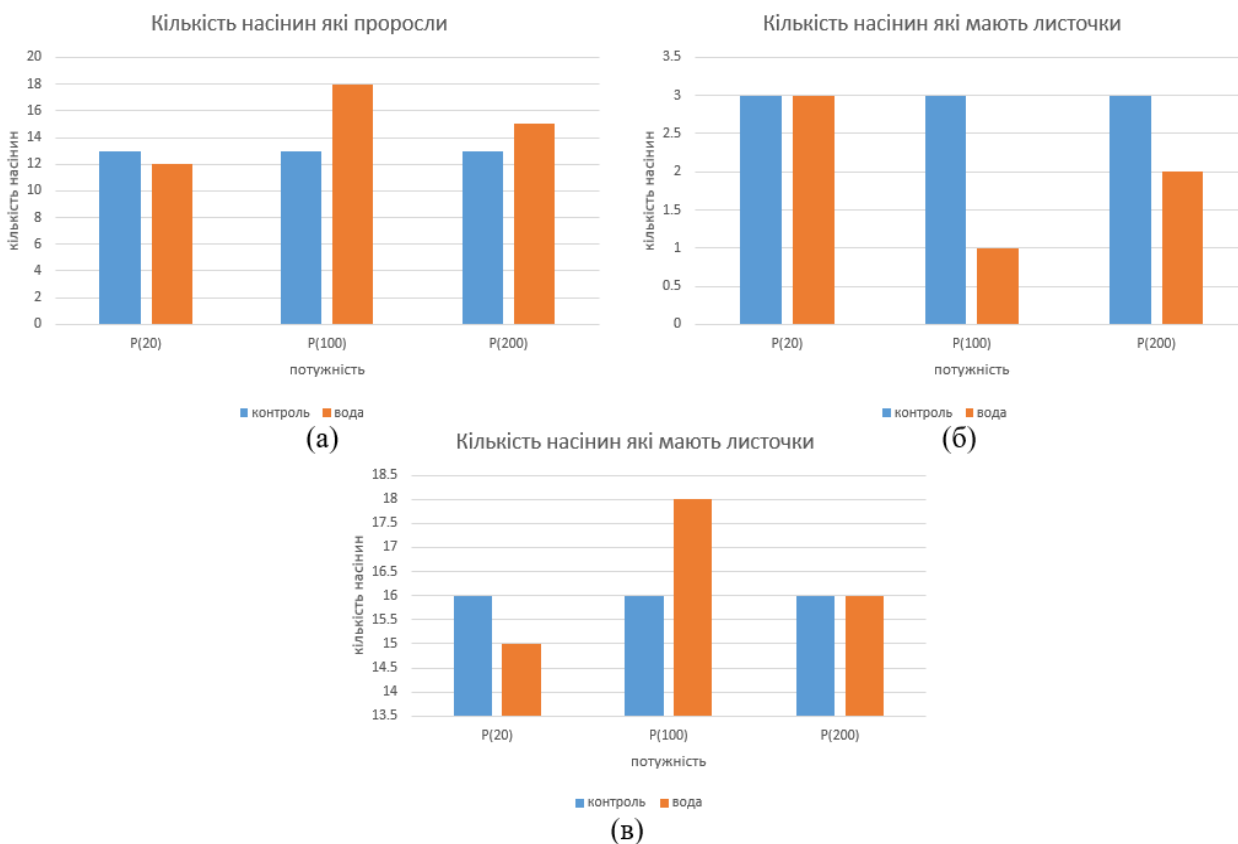


Рисунок 2.16 насіння Кресс салату при обробці 2хв при потужності 20,100,200мВт (а) кількість насінин які проросли через 18годин після обробки; (б) Кількість насінин які мають листочки через 2дня бгодин після обробки; (в) Кількість насінин які мають листочки через 3дня після обробки.

ЕКСПЕРИМЕНТ 4

У цьому експерименті обробляли насіння Кресс салату та насіння Золота куля. Обробляли коронним розрядом 5хв при потужності 100мВт сухе зерно, воду, воду і зерно.

21година після обробки

Золота куля: паростків не має.

Насіння Кресс салату почало проростать, кількість насінин які проросли зображена на рисунку 2.19 (а).

1день 4години після обробки

Золота куля: паростків не має.

Кресс салат:

Зразок «Контроль»: одна насінина не проросла, інші насінини мають паростки до 3мм.

Зразок «Сухе»: всі насінини проросли та мають паростки до 4мм.

Зразок «Вода»: всі насінини проросли та мають паростки до 2мм.

Зразок «Вода+Насіння»: одна насінина не проросла, інші насінини мають паростки до 2мм.

1 день 21 година після обробки

Кресс салат:

Зразок «Вода+Зерно»: одна насінина не проросла.

На рисунку 2.19(б) зображена кількість насінин Кресс салату які мають листочки.

На рисунку 2.20(а) зображена кількість паростків насіння Золота куля.

2 дня 4 години після обробки

На рисунку 2.18(в) зображена кількість насінин Кресс салату у яких з'явилися листочки.

На рисунку 2.20(б) зображена кількість паростків насіння Золота куля.

2 дня 21 година після обробки

Кресс салат:

Зразки «Сухе» «Контроль»: паростки почали підніматися в гору та набувати зеленого кольору, решта зразків салатого кольору. Кількість зразків які мають листя зображені на рисунку 2.19(г).

На рисунку 2.20(в) зображена кількість паростків Золота куля.

3 дня 21 година після обробки

Кресс салат:

Зразок «Контроль» та «Сухе»: мають зелені листочки які піднялися в гору на 1 см, хороший ріст.

Зразок «Вода»: паростки почали підніматися в гору та мають зелене листя.

Зразок «Вода+Насіння»: паростки почали зеленіти, але все ще мають салативий колір.

Золота куля:

Зразок «Сухе» має 3 насінини з листочками, насіння розміром від 3 до 8мм.

Зразок «Вода» має насіння розміром від 3 до 8мм.

Зразок «Вода+Насіння» має насіння розміром від 1 до 4мм.

Зразок «Контроль» має паростки від 1 до 4мм.

Кількість паростків зображена на рисунку 2.19(г).

5днів 4години після початку обробки

Всі зразки зображені на рисунку 2.21.

Кресс салат: пагони почали підніматися вгору та набувати зеленого кольору.

Кількість паростків «Золота куля» у яких з'явилося листя зображена на рисунку 2.22(а).

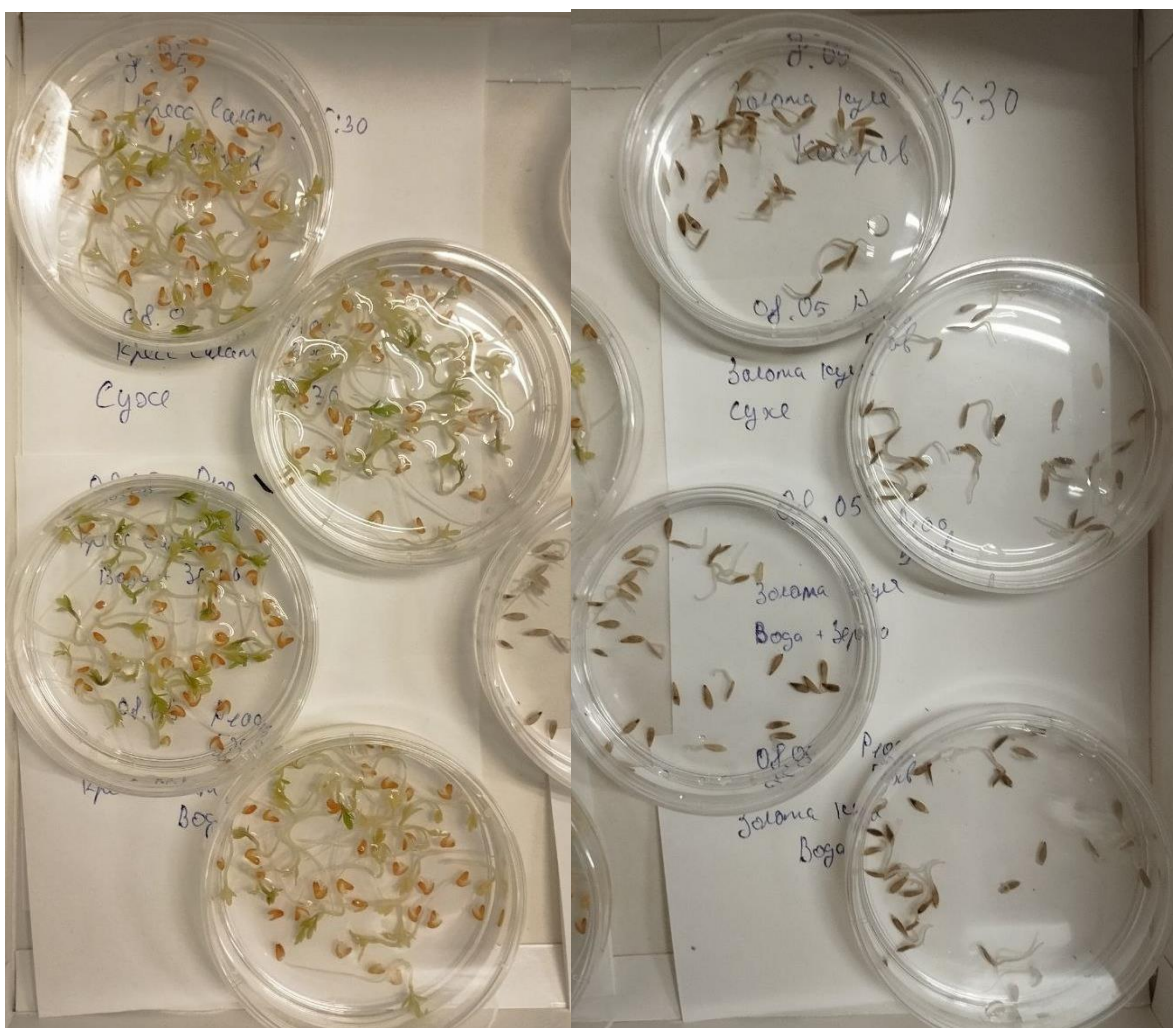


Рисунок 2.21.

5 днів 21 година після обробки

Кресс салат: усі зразки мають зелене листя, яке почала підніматися вгору.

Найкращий зразок «Контроль» та «Сухе». Найгірший - «Вода+Насіння».

Золота куля: листочки почали набувати зеленуватого кольору. Кількість насінин які мають листочки зображена на рисунку 2.22(б).

7 днів 4 години після обробки

Зразки зображені на рисунку 2.23.

Всі зразки «Кресс салату» мають зелене листя. Візуально найкращим зразком є зразок «Сухе», листочки найбільш розвинені та мають яскравий зелений колір.

Найгіршим зразком є зразок «Вода+Насіння», листочки погано розвинені та мають блідуватий колір.

В усіх зразках «Золота куля» з'явилися листочки, найбільш зелені і розвинені у зразку «Сухе», найменш розвинені у зразку «Вода+Насіння».

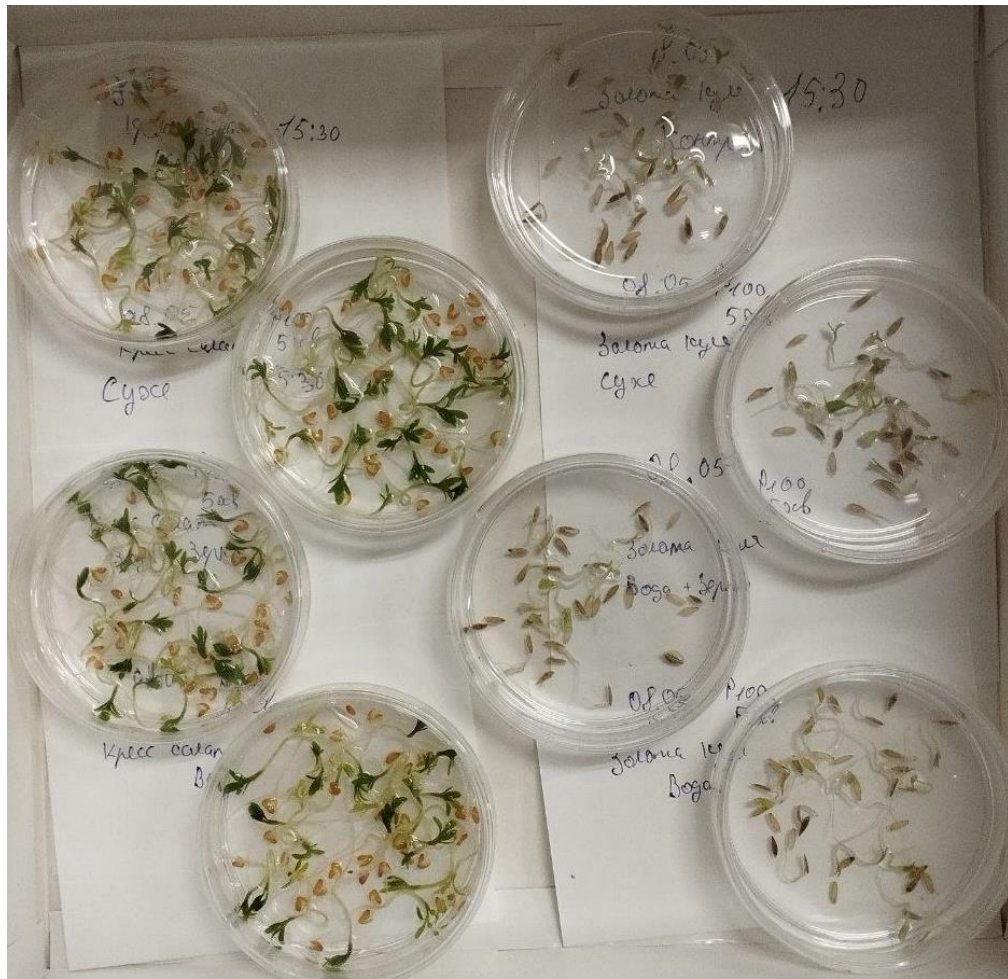


Рисунок 2.23.

10днів 4години після обробки

Золота куля: паростки мають зелене листя та піднімаються вгору, візуально найкращим зразком є зразок «Сухе» та «Вода». У зразках «Контроль» та «Вода+Насіння» проросло всього лише 12 насінин з 30, тоді коли у зразках «Сухе» та «Вода» 20 і 24 насінини відповідно.

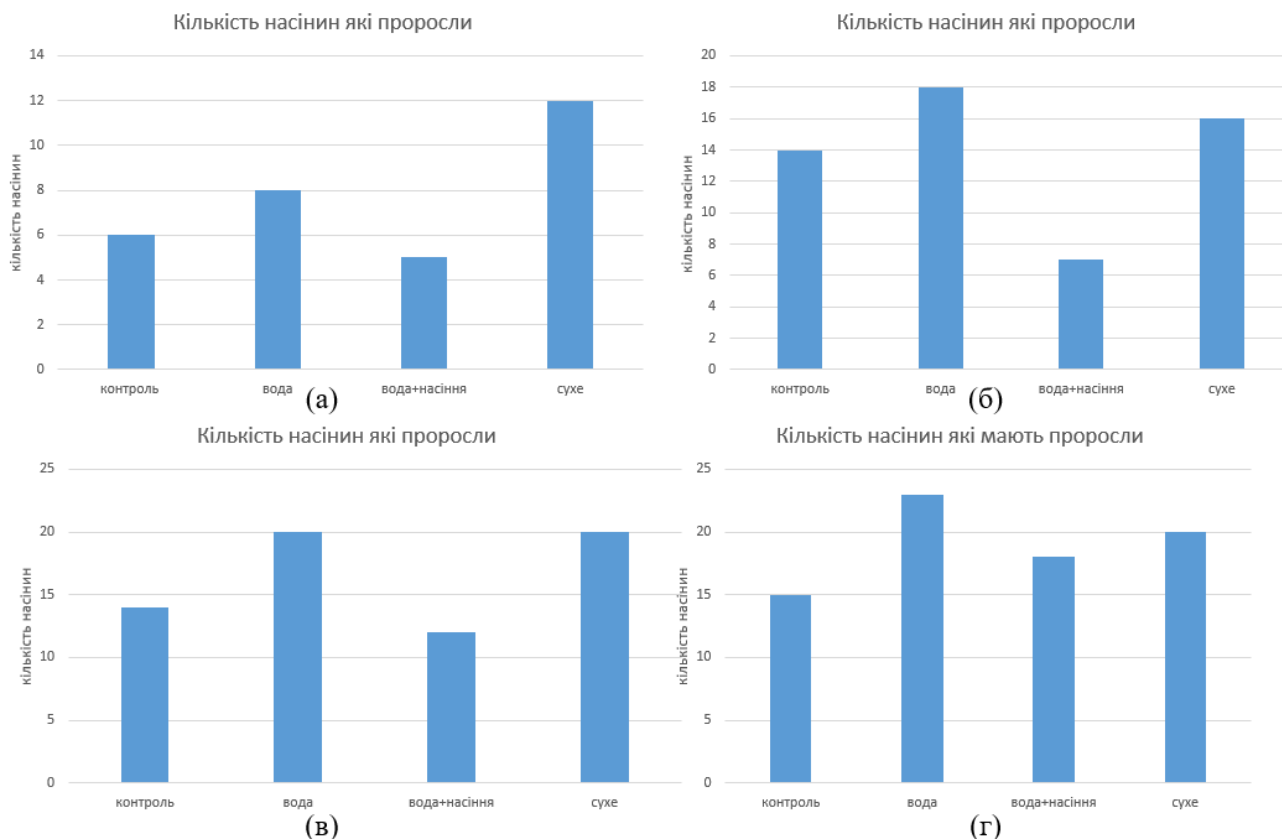


Рисунок 2.19 насіння Кресс салату при обробці коронним розрядом 5хв при потужності 100мВт (а) зразки Кресс салату через 21годину після обробки; (б) кількість насінин Кресс салату які мають листочки через 1день 21година після обробки; (в) зображена кількість насінин Кресс салату у яких з'явилися листочки через 2дня 4години після обробки; (г) кількість листків Кресс салату які мають зеленувате листя через 2дня 21година після обробки.

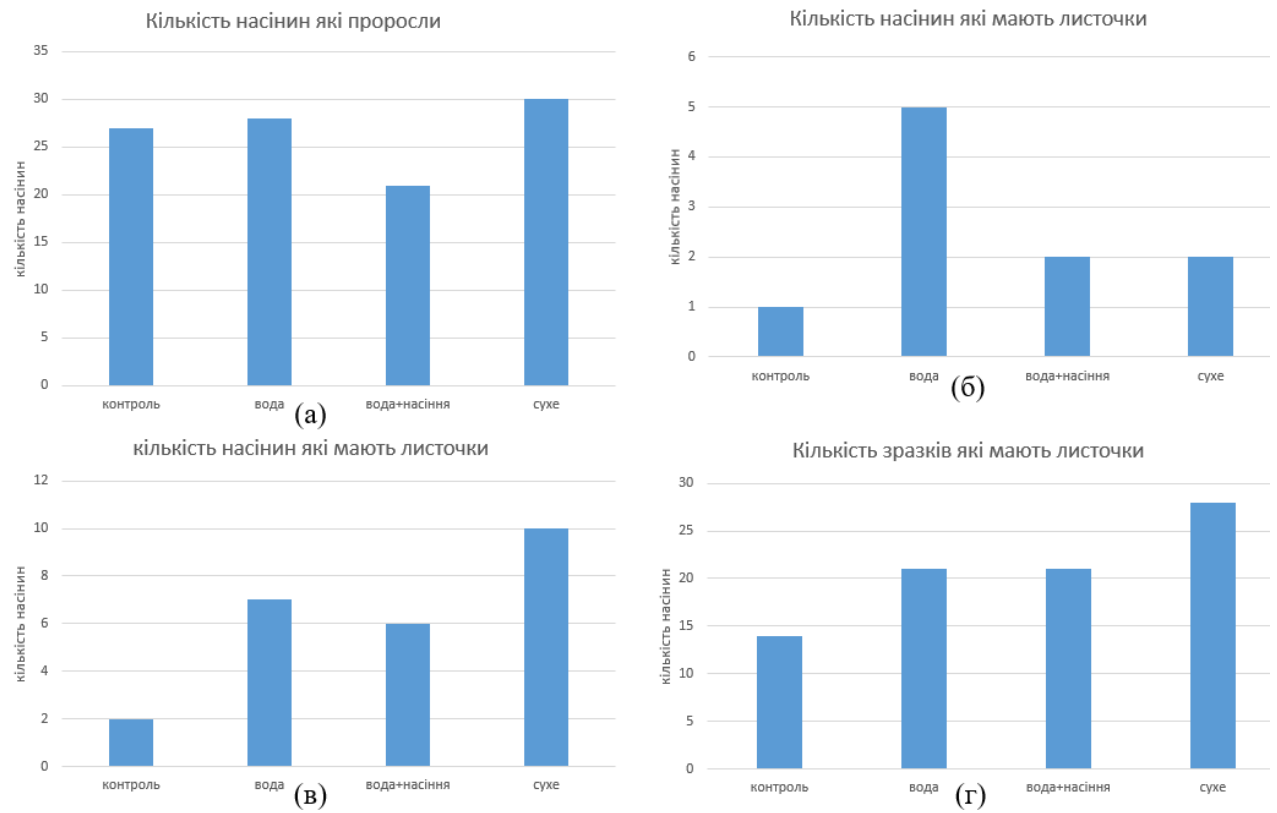


Рисунок 2.20 насіння Золота Куля при обробці коронним розрядом 5хв при потужності 100мВт (а) кількість насінин Золота куля які проросли через 1день 21година після обробки; (в) кількість насінин Золота куля які проросли через 2дня 21година після обробки; (г) кількість насінин Золота куля які проросли 3дня 21година після обробки;

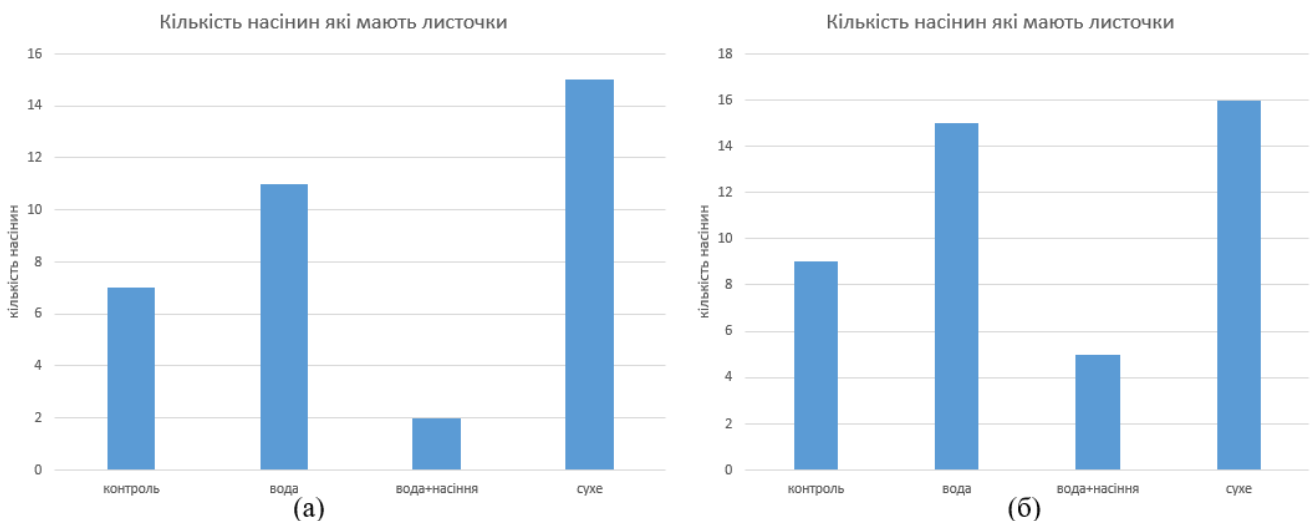


Рисунок 2.22 насіння Золота Куля при обробці коронним розрядом 5хв при потужності 100мВт (а) кількість паростків Золота куля у яких з'явилося листя; (б) кількість насінин Золота куля які мають зеленуваті листочки.

ЕКСПЕРИМЕНТ 5

У цьому експерименті використовували діелектричний бар'єрний розряд (ДБР). Обробляли сухе насіння, воду та воду з насінням Кресс салату та Золота куля при потужності 100мВт і часу обробки 5 хв. Зразки після обробки зображені на рисунку 2.24.



Рисунок 2.24.

17годин після обробки

На рисунку 2.25(а) зображена кількість насінин Кресс салату які проросли.

Насіння Золота куля не проросло.

1день 17годин після обробки

На рисунку 2.25(б) зображена кількість насінин Кресс салату які проросли. З графіка видно що DBD розряд впливає краще на оброблену воду з насінням ніж Коронний розряд.

На рисунку 2.26(а) зображена кількість насінин Золота куля які проросли. З графіка видно що насіння проростає краще при DBD ніж при Коронному розряді.

2дня після експерименту

На рисунку 2.25(в) зображена кількість насінин Кресс салату у яких з'явилися листочки. Зразок «Сухе» має паростки розміром 6-8мм, «Вода» - 1-7мм, «Вода+Насіння» - 3-7мм, «Контроль» - 1-8мм.

На рисунку 2.26(б) зображена кількість насінин Золота куля які мають паростки.

3дні після експерименту

Кресс салат: майже всі насінини мають листочки, деякі листочки почали набувати зеленого кольору. Кількість насінин які проросли зображені на рисунку 2.25(г).

На рисунку 2.26(в) зображена кількість насінин Золота куля у яких з'явилися паростки.

4дня після обробки

Всі зразки зображені на рисунку 2.27.

Кресс салат: листочки почали зеленіти, найбільш зелені у зразках «Сухе» і «Вода+Насіння».

Золота куля: кількість насінин які проросли майже не змінилась, у зразках почали з'являтися зеленуваті листочки.

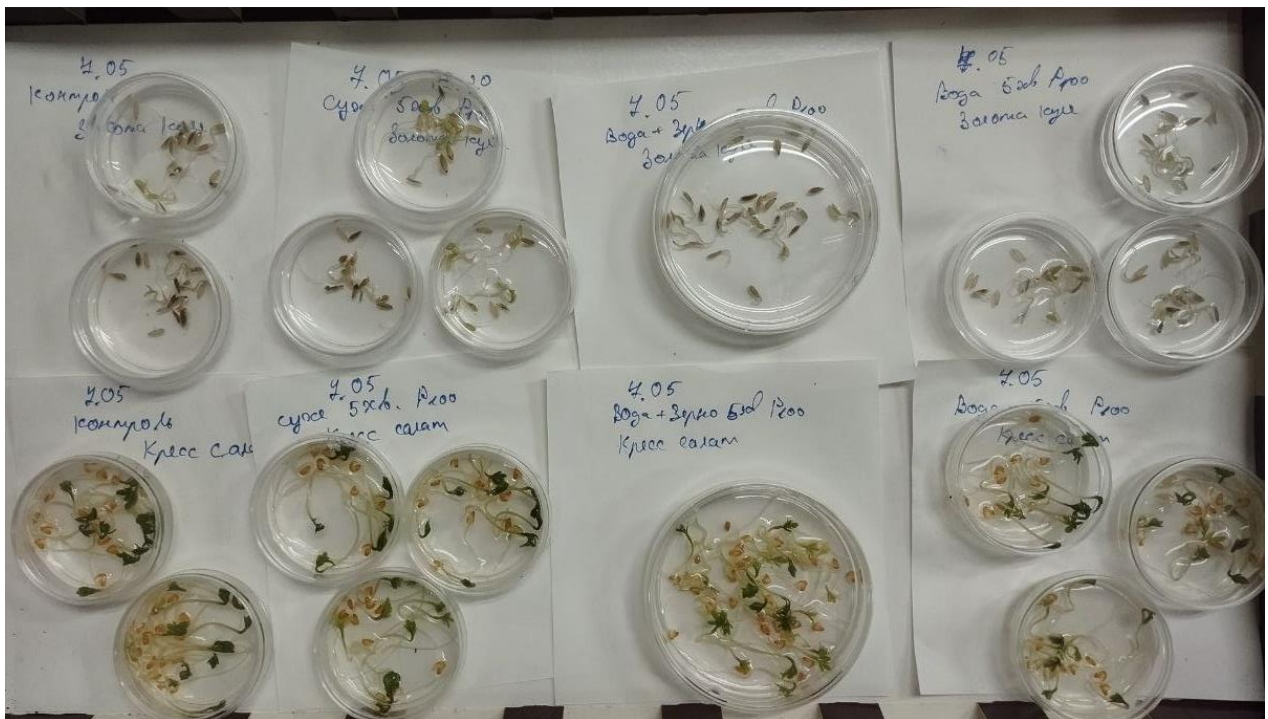


Рисунок 2.27.

4дня 17годин після обробки

Кресс салат: всі зразки мають зелене листя. Візуально зразок «Сухо» виглядає найкраще потім «Вода+Насіння», найгірші зразки «Контроль» і «Вода».

На рисунку 2.26(г) зображена кількість паростків Золота куля які проросли.

7днів після обробки

Кресс салат: паростки почали підніматися вгору. Найкращий зразок «Сухо»
Золота куля: візуально зразок «Сухо» виглядає найкраще, має найбільшу кількість зелених листочків, тоді коли у зразках «Вода» і «Вода+Насіння» їх майже не має. Кількість насінин у яких є листочки зображена на рисунку 2.28(а).

9днів після початку обробки

Золота куля: найкращий зразок «Сухо», паростки найбільш розвинені та мають зелений колір. Кількість насінин у яких з'явилися листочки зображена на рисунку 2.28(б).

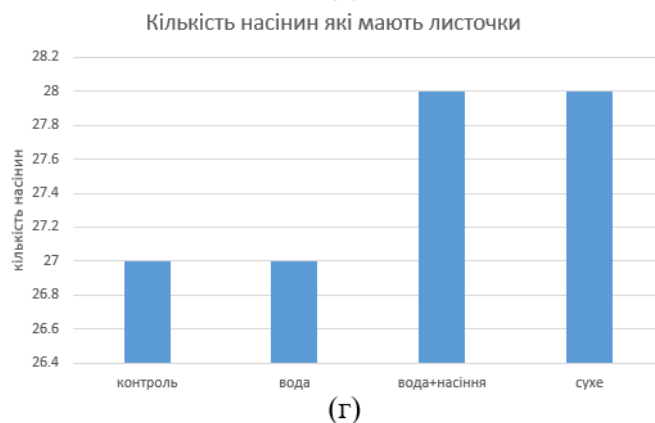
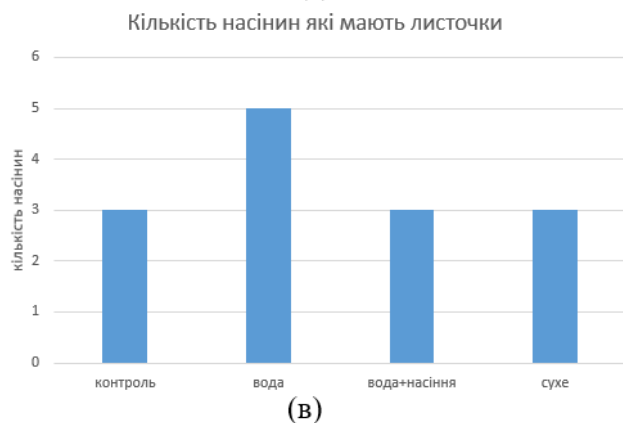
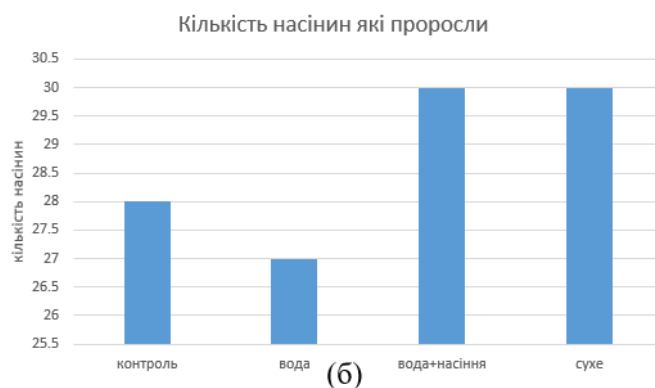
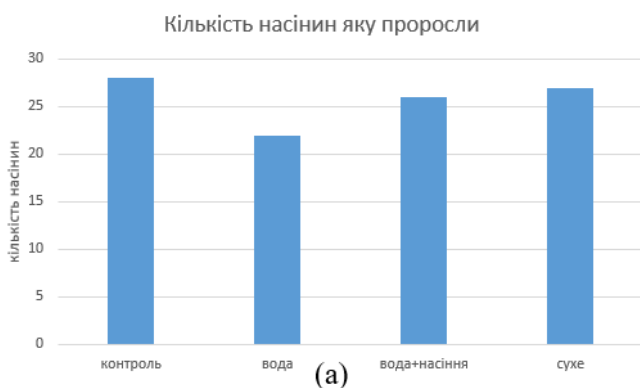


Рисунок 2.25 насіння Кресс салату при обробці ДБР 5хв при потужності 100мВт
 (а)кількість насінин Кресс салату які проросли через 17годин після обробки;
 (б)кількість насінин Кресс салату які проросли через 1день 17годин після обробки;
 (в)кількість насінин Кресс салату які мають листочки через 2дня після обробки;
 (г)кількість на насінин Кресс салату які мають зеленуваті листочки через 3 дня після обробки.

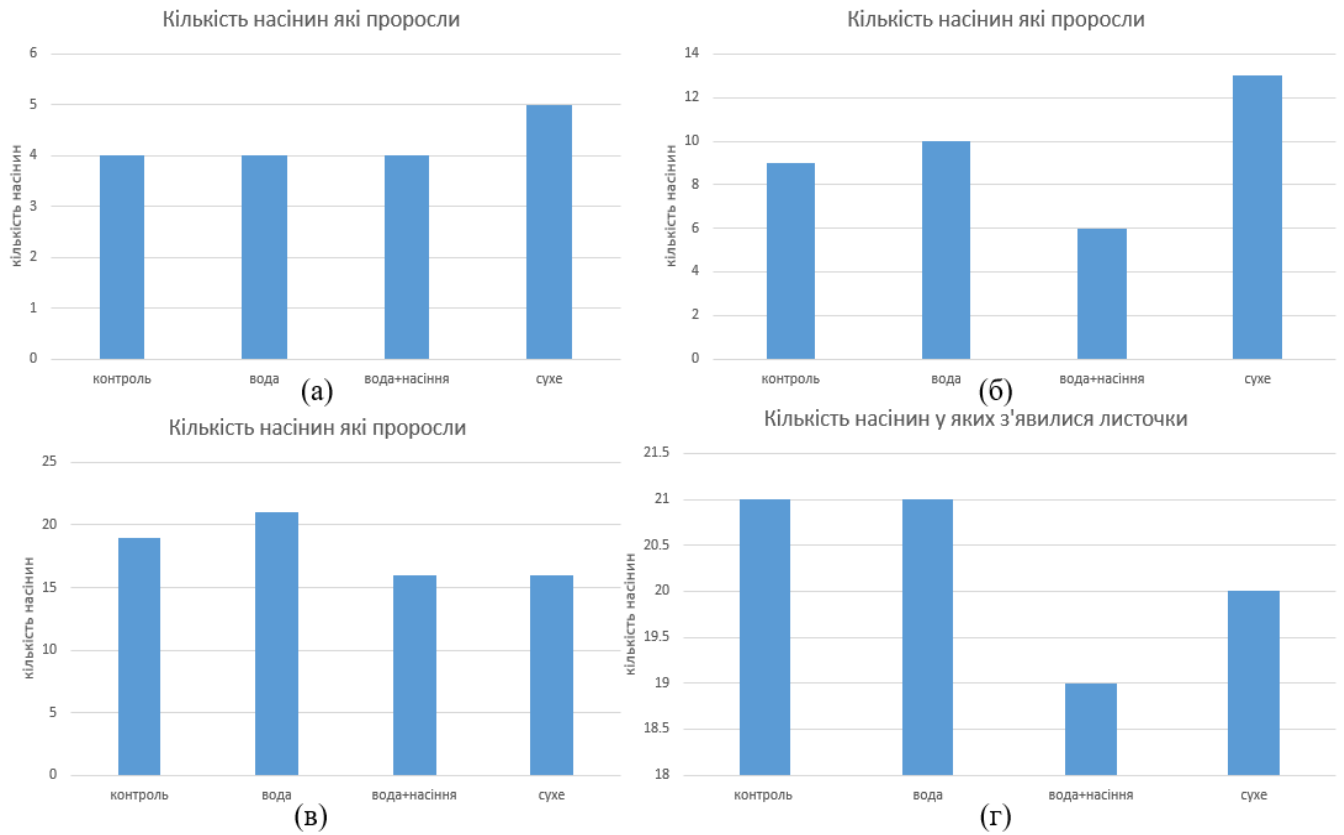


Рисунок 2.26 насіння Золота куля при обробці ДБР 5хв при потужності 100мВт
 (а)кількість насінин Золота куля які проросли через 1день 17годин після обробки; (б)кількість насінин Золота куля які проросли через 2дня після обробки; (в)кількість насінин Золота куля які проросли через 3дня після обробки; (г)кількість насінин Золота куля які проросли через 4дня 17годин після обробки.

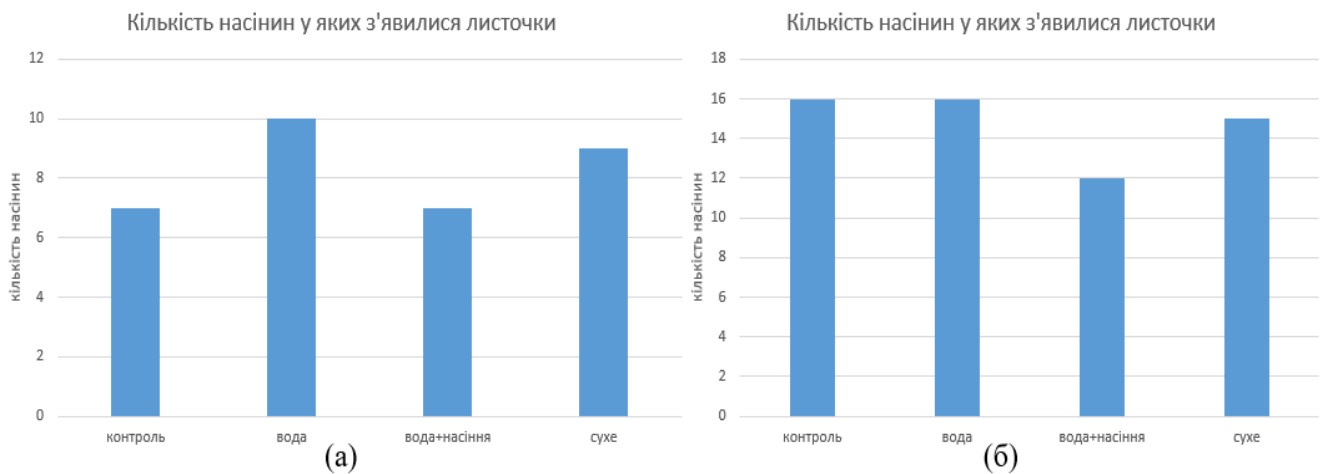


Рисунок 2.28 насіння Золота куля при обробці ДБР 5хв при потужності 100мВт
(а)кількість насінин Золота куля які мають листочки через 7днів після обробки;
(б)кількість насінин Золота куля які мають листочки через 9днів після обробки.

ЕКСПЕРИМЕНТ 6

У цьому експерименті обробляли сухе насіння Кресс салату діелектричним бар'єрним розрядом при потужності 100мВт та при часу обробки 2,5,10хв.

4години після початку обробки

Кількість насінин які проросли: Контроль-1 насінина; 2хв-2 насінини; 5хв-0 насінин; 10хв-1 насінина.

21година після обробки

Кількість насінин які проросли зображена на рисунку 2.29(а).

1день 4години після обробки

Кількість насінин які проросли зображена на рисунку 2.29(б).

1день 21година після обробки

Всі насінини проросли. Зразок оброблений 2хв має 3 насінини з листочками.

2дня 4години після обробки

Зразок оброблений 2хв візуально виглядає найкраще, має найбільшу кількість зелених листочків. Інші зразки майже не відрізняються.

Кількість паростків у яких з'явилися листочки зображена на рисунку 2.29(в).

Всі зразки зображені на рисунку 2.30.

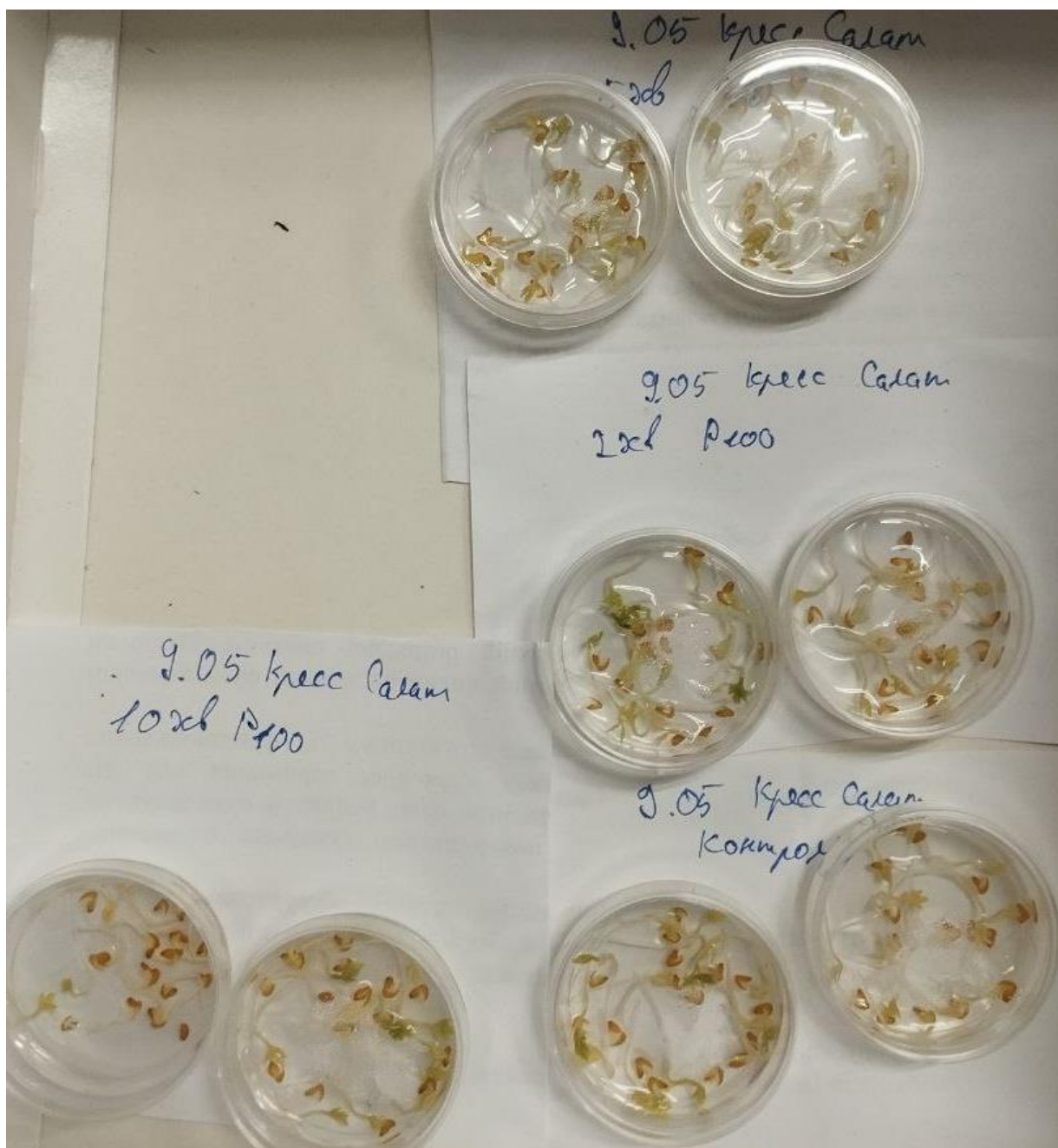


Рисунок 2.30.

Здня 4 години після обробки

Листочки почали набувати зеленого кольору, найкращий зразок оброблений 2хв.

Кількість насінин які мають листочки зображена на рисунку 2.29(г).

Здня 21 година після обробки

В усіх зразках є зелене листя, паростки почали підніматися вгору. Візуально найкращим зразком є зразок оброблений 5хв, він має найбільше зеленого листя. Найгіршим зразком є зразок оброблений 10хв, пагони найгірше розвинені.

4дня 21година після обробки

Усі паростки проросли та мають листя. Зразок оброблений 5хв має найбільшу кількість зеленого листя. Зразок оброблений 10хв є найгіршим, паростки погано розвинені та мають блідий колір.

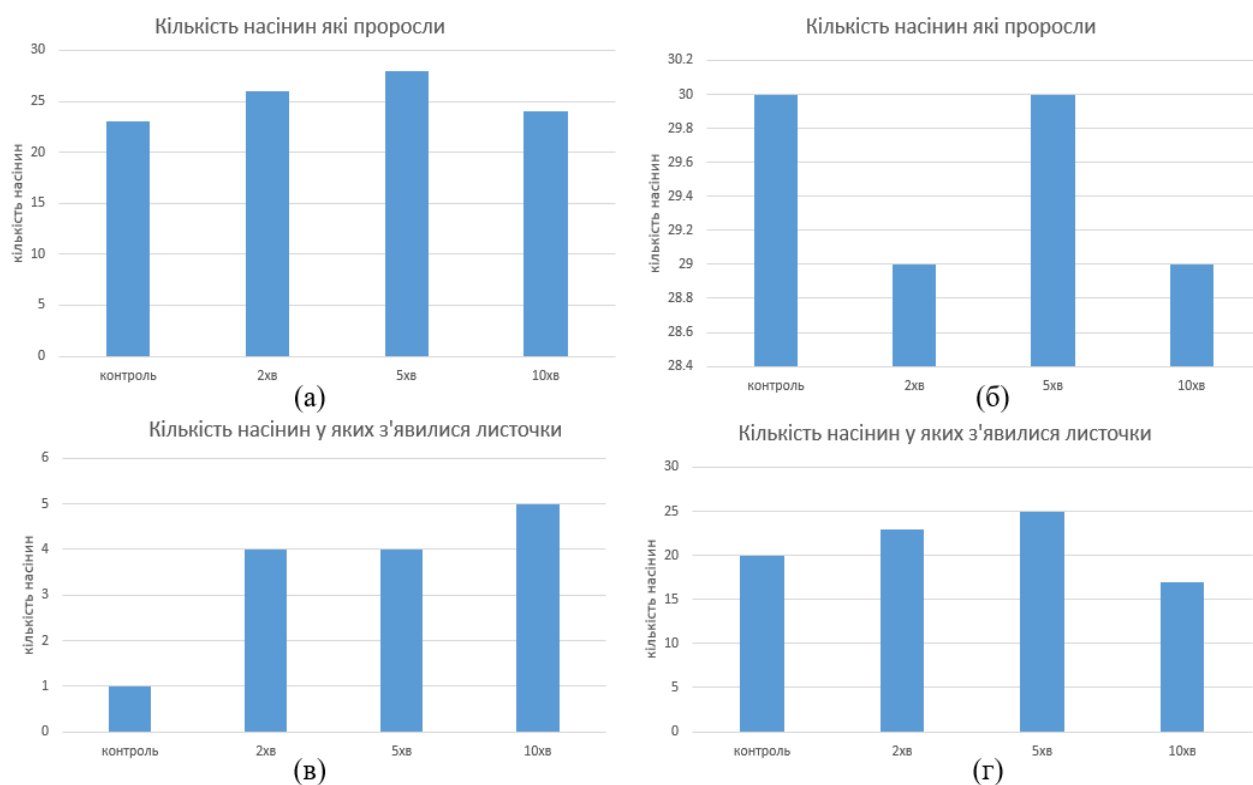


Рисунок 2.29 насіння Кресс салату при обробці ДБР 2,5,10хв при потужності 100мВт (а)кількість насінин які проросли через 21годину після обробки; (б) кількість насінин які проросли через 1день 4години після обробки; (в)кількість насінин які проросли через 2дня 4години після обробки; (г)кількість насінин які мають листочки через 3дня 4години після обробки;

Значення кислотності знімалися рН-метром рН-150МИ. Він призначений для виміру показника активності іонів водню (рН), окисно-відновного потенціалу (Eh) і температури (t) водних розчинів і безпосереднього вимірювання рН м'яса і

м'ясопродуктів. В основу роботи покладено потенціометричний метод вимірювання рН і Eh контрольованого розчину.

Виміряні значення рН до і через 1 годину після обробки зображені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

	20мВт	100мВт	200мВт
2хв	5.59	5.52	5.46
5хв	5.43	5.44	5.46
10хв	5.46	5.49	5.36
контроль	5.45		

У таблиці 2.5 узагальнено результати плазмовою скарифікації насіння залежно від умов обробки джерел плазми, включаючи коронний розряд, діелектричний бар'єрний розряд . Потужність і час обробки є життєво важливими робочими параметрами для опису сприятливих ефектів окремих елементів плазмової обробки.

Таблиця 2.5. Вплив скарифікації плазмових обробок на насіння Кресс салату та Золота куля.

тип розряду	насіння	оброблюваний матеріал	потужність	час обробки		
				2хв	5хв	10хв
коронний розряд	Кресс салат	вода	P20	зменшення швидкості проростання, покращення розвитку	збільшення швидкості проростання та розвитку	
			P100	збільшення швидкості проростання та розвитку	збільшення швидкості проростання та розвитку	збільшення швидкості проростання та розвитку
			P200	збільшення швидкості проростання, зменшення розвитку	зменшення швидкості проростання та розвитку	

	вода+насілля	P20		збільшення швидкості проростання та розвитку			
		P100	зменшення швидкості проростання та розвитку	зменшення швидкості проростання, покращення розвитку	зменшення швидкості проростання та розвитку		
		P200		збільшення швидкості проростання та розвитку			
		сухе насіння	P100		збільшення швидкості проростання та розвитку		
		Золотакуля	вода	P100		збільшення швидкості проростання та розвитку	
			вода+насілля	P100		зменшення швидкості проростання	
	сухе насіння		P100		збільшення швидкості проростання та розвитку		
	діелектричний бар'єрний розряд	Кресс салат	вода	P100		зменшення швидкості проростання	
			вода+насілля	P100		збільшення швидкості проростання та розвитку	
			сухе насіння	P100	збільшення швидкості	збільшення швидкості	зменшення швидкості

				проростання та розвитку	проростання та розвитку	і проростання та розвитку
--	--	--	--	-------------------------	-------------------------	---------------------------

Сприятливий вплив плазмової обробки на активізацію насіння пов'язаний головним чином з його потужністю (W) та часом експозиції (min) (рисунок 2.31).

Також на рисунку видно результати проведеного експерименту обробки плазмою насіння мікрозелені, у порівнянні з деякими даними які були зібрані в інших експериментах.

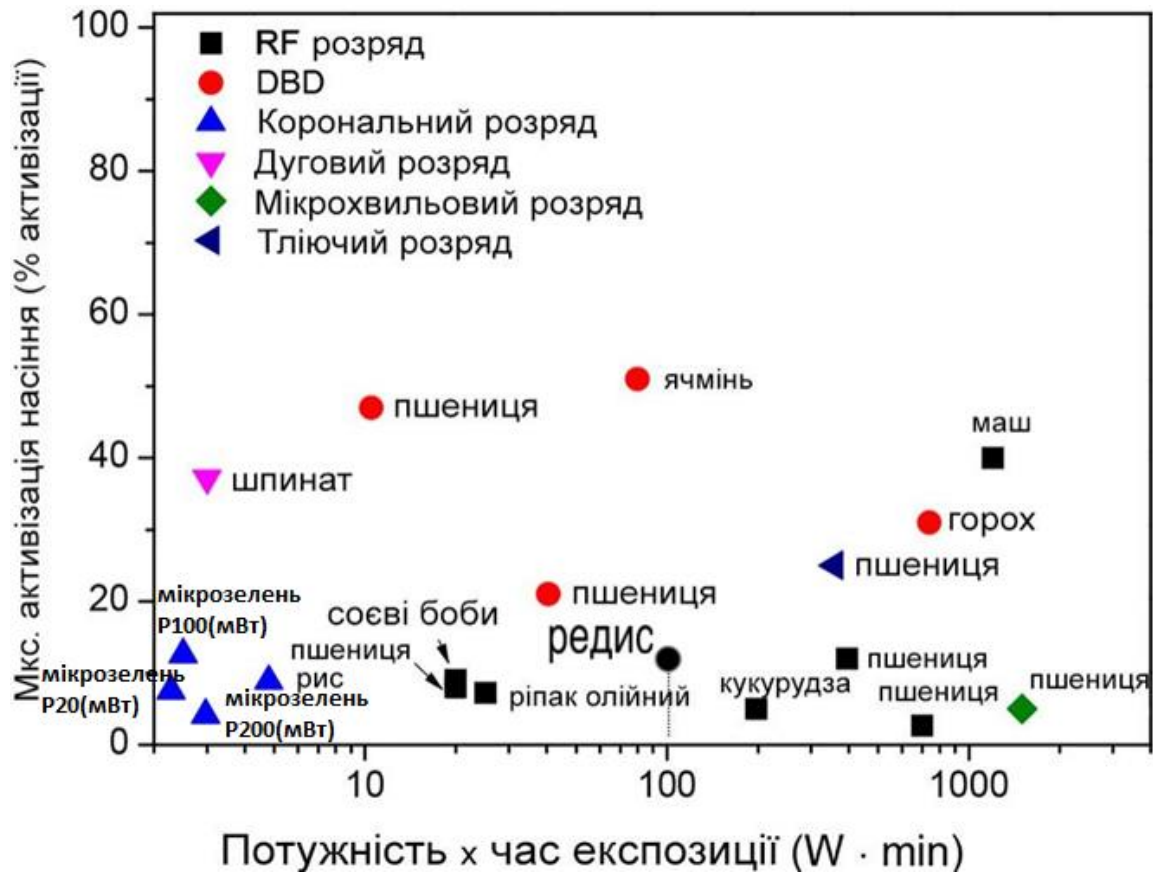


Рисунок 2.31 Максимальна активізація насіння (% від контролю) як функція потужності (W) та часу витримки (min) плазмових обробок для широкого спектру сільськогосподарських культур.

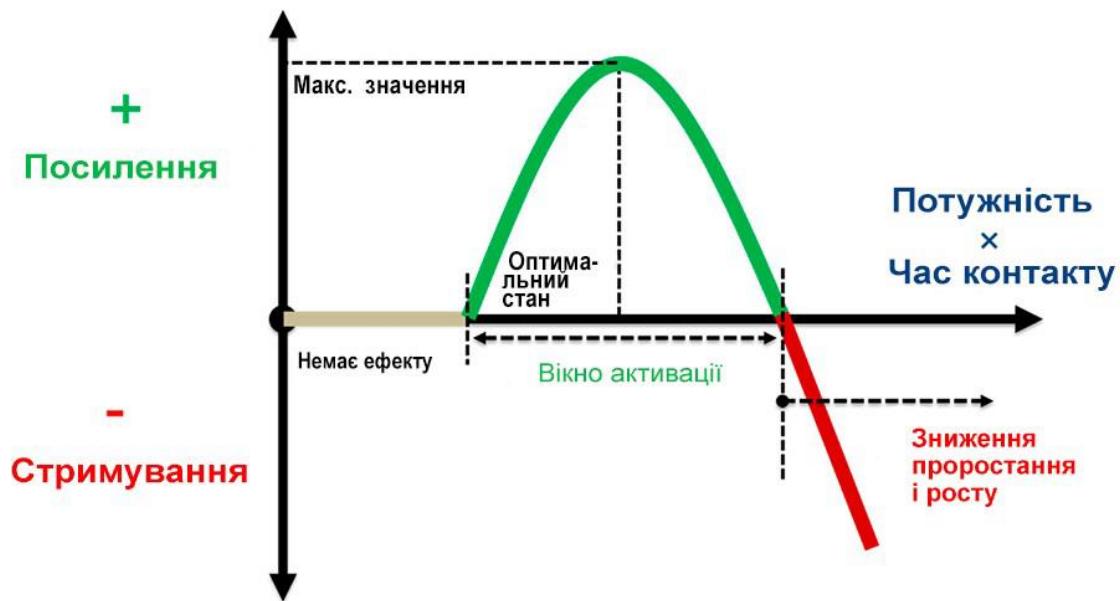


Рисунок 2.32. Відповідь культури як функція потужності (W) та часу експозиції (min) плазмової обробки. Оптимальний вплив плазми може підвищити схожість насіння та ріст розсади до стресових подій.

ВИСНОВОК

У ході дипломної роботи було досліджено вплив низькотемпературної плазми отриманої коронним та діелектричним бар'єрним розрядом (ДБР). Плазмова обробка при оптимальній вологості змінює поверхневі властивості насіння, збільшуючи його гідрофільність і покращуючи поглинання води. Було зроблено 6 експериментів для того, щоб зрозуміти, як впливає низькотемпературна плазма на проростання насіння при різному часу обробки та різній потужності. З дослідів видно, що плазма посилює або послаблює проростання в залежності від часу та потужності. Досліди показали – обробка сухого насіння значно покращує швидкість проростання насіння та показує гарний кінцевий результат. Обробка води показує стабільний ріст на всіх стадіях розвитку паростка, а при обробці води з насінням сповільнюється початковий розвиток пагона, але через деякий час після появи листків пагони починають інтенсивно набирати масу.

Виділені переваги під час плазмової технології:

- 1) Не використовує жодних хімікатів, крім повітря, не модифікує генетичний матеріал;
- 2) Підвищує водопоглинання через насінневу оболонку;
- 3) Покращуються раннє проростання;
- 4) Збільшення біомаси;
- 5) Для найкращого ефекту потрібна обробка до 5хв;

Плазмова скарифікація в умовах оптимальної вологості є ефективною методикою для покращення схожості насіння. Контроль вологості середовища під час плазмової обробки є ключовим фактором, що впливає на успіх процедури. Застосування цієї технології може сприяти підвищенню продуктивності сільськогосподарських культур, що має важливе значення для агропромислового комплексу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abbaszadeh1, Pegah Khosravi Nia, Mahsa Fattahi, Hamidreza Ghomi Marzdashti. The effects of three plasma-activated water generation systems on lettuce seed germination Rouzbeh
2. Chu, P.K.; Lu, XinPel (2013). Low Temperature Plasma Technology: Methods and Applications. CRC Press. p. 3. ISBN 978-1-4665-0990-0
3. M. Moreau et al. / Biotechnology Advances 26 (2008) 610–617
4. M. Moisan et al. / International Journal of Pharmaceutics 226 (2001) 1–21
5. .Acid-base effects of altering plasma protein concentration in human blood in vitro T H Rossing, N Maffeo, V FencI PMID: 3100499 DOI: 10.1152/jappl.1986.61.6.2260
6. Bellakhal N, Draou K, Cheron BG, Brisset JL. Protective films formed on copper by oxygen plasma treatment. J Electroanal Chem 1997a;431:297–9.
7. Boucher RM. State of the art in gas plasma sterilization. Med Device Diagnostic Indus 1985;7:51–6.
8. Nelson CL, Berger TJ. Inactivation of microorganisms by oxygen gas plasma. Curr Microbiol 1989;18:275–6
9. Koulik P, Begounov S, Goloviatinskii S. Atmospheric plasma sterilization and deodorization of dielectric surfaces. Plasma Chem Plasma Proc 1999;19:311–26.