

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ТВПШТСБ

Кафедра біотехнології та біоінженерії
Спеціальність 162 – «Біотехнології та біоінженерія»
Ступінь вищої освіти «Магістр»

«Допустити до захисту»

«Рекомендувати до захисту»

Декан _____ Михайло ГИЛЬ В.о. зав. кафедри _____ Олена КАРАТЄЄВА

“ ____ ” _____ 2025 р.

“ ____ ” _____ 2025 р.

ФОТОМОРФОГЕНЕЗ У КУЛЬТУРІ *IN VITRO* ТРОЯНД ГРУПИ *RATIO*
ЗА ВПЛИВУ СПЕКТРАЛЬНОГО СКЛАДУ ОСВІТЛЕННЯ,
ФІТОГОРМОНАЛЬНОГО ФОНУ ТА АНТРИСТРЕСОВИХ ФАКТОРІВ

04.02. – КР. 105-О. 25 07 22. 007

Виконавець:

здобувачка вищої

освіти II курсу _____ Лілія ПОПОВА

Науковий керівник:

доцентка _____ Олена КАРАТЄЄВА

Рецензентка:

Завідувачка відділу біотехнології

Інституту продовольчих ресурсів

НААН _____ Світлана ДАНИЛЕНКО

Миколаїв – 2025

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	8
1.1. Біологічні особливості троянд групи <i>Patio</i>	8
1.2. Сучасні підходи та проблеми мікроклонального розмноження троянд	13
1.3. Фотоморфогенез рослин: механізми та регуляція світлом	16
1.4. Антистресові препарати у культурі <i>in vitro</i>	18
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ, УМОВИ І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ	21
2.1. Місце та об'єкт досліджень	21
2.2. Методика виконання роботи	23
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	27
3.1. Загальні особливості росту експлантів троянд <i>Patio</i> у базових умовах <i>in vitro</i>	27
3.2. Вплив спектрального складу освітлення на фотоморфогенез експлантів при стандартному фітогормональному фоні	30
3.3. Вплив комбінації світлових спектрів на морфологію, ріст та розвиток рослин	33
3.4. Вплив антистресових препаратів та фітогормонального фону при різних комбінаціях освітлення на розмноження	35
3.5. Економічна частина	39
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	43
РОЗДІЛ 5. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	46
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ	53
ВИСНОВКИ	57
ПРОПОЗИЦІЇ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТОК А	65

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота виконана на 74 сторінках друкованого тексту, з використанням 36 бібліографічних джерел, додаткової літератури та періодичних видань; 14 рисунків та 18 таблиць. Робота включає такі структурні елементи як реферат, список умовних позначень, вступ, огляд літератури, опис матеріалів, умов і методики дослідження, розрахункову частину, охорона праці, безпека в надзвичайних ситуаціях, охорона довкілля, висновки й пропозиції.

Мета дослідження – дослідити вплив спектрального складу освітлення, фітогормонального фону та застосування антистресових препаратів на процеси фотоморфогенезу у культурі *in vitro* троянд групи *Patio* з метою оптимізації умов їх культивування та покращення якості садивного матеріалу.

Об’єкт дослідження – троянди групи *Patio* вирощені у культурі *in vitro*, а саме сорти *Alegria*, *El Toro*, *Cinderella*, *Jana*, *Trumpeter* та *Tamango*, як матеріал для вивчення фотоморфогенетичних процесів під впливом різних світлових, фітогормональних та антистресових факторів.

Предмет дослідження – фотоморфогенетичні реакції експлантів троянд групи *Patio* на різні спектральні режими освітлення, фітогормонального фону та антистресових препаратів на морфогенез у культурі *in vitro*.

Завдання дослідження:

1. Дослідити загальні особливості росту та розвитку експлантів у базових умовах культивування *in vitro*, зокрема визначити морфометричні показники та оцінити виживаність рослин.

2. Проаналізувати вплив різних спектральних режимів освітлення на фотоморфогенез експлантів при стандартному фітогормональному фоні.

3. Встановити вплив світлових комбінацій (R:B=1:1, R:B=4:1, B:G=1:1) на показники фотоморфогенезу експлантів при стандартному фітогормональному фоні.

4. Дослідити спільний вплив антистресових препаратів та оптимізованого фітогормонального фону при різних комбінацій освітлення на якість та морфогенетичну стабільність експлантів.

5. Встановити економічну ефективність використання різних спектральних режимів освітлення на фотоморфогенез у культурі *in vitro* троянд групи *Patio*

У роботі застосовували комплекс морфологічних, фізіолого-біохімічних та статистичних методів. Культивування експлантів троянд групи *Patio* проводили *in vitro* на поживному середовищі MS зі стандартним та модифікованим фітогормональним фоном. Досліджували вплив різних спектральних режимів освітлення (R:B=1:1, R:B=4:1, B:G=1:1) та антистресових препаратів.

Морфометричні показники (довжина пагонів, кількість листків, кількість пагонів, маса рослин, відсоток виживання) визначали шляхом візуальних вимірювань та фотодокументації. Фізіолого-біохімічні параметри оцінювали за вмістом фотосинтетичних пігментів і показниками антиоксидантної системи рослин.

Структурні особливості листків та пагонів аналізували методами світлової мікроскопії. Морфогенетичну стабільність оцінювали за зовнішніми ознаками і, за потреби, молекулярно-генетичними маркерами.

Результати були апробовані на IV Міжнародній науково-практичній конференції «Débats scientifiques et orientations prospectives du développement scientifique» та опубліковані у закордонному виданні Liliia Popova The influence of cytokinins on the growth and development of patio group roses in «in vitro». Scientific debates and future-oriented development development: with materials from the VI international scientific and international practice, Paris, March 1, 2024. Paris-Vinnytsia: La Fedeltà & UKRLOGOS Group LLC, 2024. <https://doi.org/10.36074/logos-01.03.2024.032> (Додаток А).

Ключові слова: *in vitro*, фотоморфогенез, спектральні режими освітлення, фітогормональний фон, антистресові препарати, морфогенез, експланти, троянди, *Patio*, мікроклональне розмноження, морфометричні показники, вітрифікація, стрес.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

B – синє освітлення

CRY – криптохроми

F1 – перше покоління

FKF1/LKP2 – Група білків ZEITLUPE які функціонують як світлочутливі компоненти, що регулюють циркадний годинник і фотоперіодизм

G – зелене освітлення

LED панель – світлодіодна панель

PAR – фотона потокова щільність

PHOT – фототропіни

PHY – фітохроми

R – червоне освітлення

UVR8 – UV-B RESISTANCE 8 (рецептор ультрафіолетового (УФ-В) випромінювання у рослин)

W – біле освітлення

ZEITLUPE – білок, задіяний у регуляції циркадних ритмів у рослин

БАП – 6-Бензиламінопурин

ІМК – індоліл-3-масляна кислота

МНС – Міністерство надзвичайних ситуацій

НАН(У) – Національна академія наук (України)

НДП – Національний дендрологічний парк

США – Сполучені Штати Америки

УФ-А – ультрафіолетове випромінювання спектру А (довгохвильове)

УФ-В – ультрафіолетове випромінювання спектру В (середньохвильове)

ВСТУП

Троянда (*Rosa* L.) є однією з найбільш цінних та економічно значущих декоративних культур у світовому квітникарстві. Зростаючий попит на якісний та оздоровлений посадковий матеріал стимулює розвиток і вдосконалення біотехнологічних методів розмноження. Мікроклональне розмноження (*in vitro* культура) є найбільш ефективним інструментом для швидкої репродукції елітних сортів, зокрема троянд групи *Patio*, які мають високі декоративні характеристики та потребують масового відтворення.

Троянди *Patio* називають найкращою дизайнерською рослиною століття, демонструють високу стійкість до захворювань, а догляд за ними є стандартним для кущових троянд. Завдяки цим характеристикам та своїй компактності вони є високоефективними для використання в сучасному садовому дизайні. Сорти *Patio* незамінні для створення невисоких барвистих живоплотів (бордюрних троянд) та використовуються разом з мініатюрними і ґрунтопокривними видами для оформлення мінісадів, особливо актуальних для різнорівневих терас

Ефективність клонального мікророзмноження на етапі інтенсифікації росту критично залежить від контролю зовнішніх факторів, які впливають на фотоморфогенез рослин. Ключовими серед них є спектральний склад освітлення та фітогормональний фон поживного середовища. Сучасні дослідження вказують на світлодіодне (LED) освітлення, завдяки можливості точного регулювання співвідношення червоного (R) та синього (B) світла, яке може значно підвищити коефіцієнт розмноження та покращити якість експлантів.

Оскільки ключові прояви фотоморфогенезу реалізуються на етапі проліферації пагонів, роботу зосереджено на аналізі морфогенетичних показників у фазі клонального розмноження. Етапи ризогенезу та адаптації не охоплювалися, оскільки виходять за межі поставленої мети

Умови *in vitro* часто провокують у рослин розвиток стресових станів таких як вітрифікація (оводнення), воно різко знижує життєздатність пагонів та ускладнює їх подальшу адаптацію. Тому вивчення та впровадження антистресових факторів є нагальною необхідністю для підвищення стабільності та рентабельності біотехнологічного виробництва. Незважаючи на значні успіхи існуючі технологічні протоколи потребують комплексного удосконалення яке б враховувало одночасний вплив спектру світла, гормонального балансу та засобів захисту від стресу.

Саме цим обумовлена актуальність даної дипломної роботи, що спрямована на комплексне вивчення та оптимізацію взаємодії цих ключових факторів для підвищення економічної ефективності виробництва троянд групи *Patio*.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Біологічні особливості троянд групи *Patio*

У ботанічному та селекційному аспектах сучасні садові троянди розглядаються як складний культивгенний комплекс, чий генотип формувався та ускладнювався протягом тривалого періоду вирощування. Це стало можливим завдяки поєднанню віддаленої й внутрішньосортової гібридизації, а також дії індукованих і природних мутаційних процесів [5].

Процес удосконалення декоративних ознак окремих видів шипшин триває й сьогодні, переважно через багаторазове схрещування різних культурних форм троянд. Періодично до цих схем вводять генетичний матеріал дикорослих, переважно диплоїдних видів. Саме так було сформовано сучасні сортові групи троянд, зокрема групу *Patio*. Більшість сучасних сортів виникла внаслідок інтрогресивної гібридизації, коли життєздатні гібриди першого покоління F1 повторно схрещували з одним або обома батьківськими видами. Групу садових троянд *Patio* виділили у класифікації 1999 року як результат селекційної роботи, у межах якої компактні форми *Floribunda* та *Hybrid Tea* схрещували з мініатюрними трояндами [4, 6].

Класифікація садових троянд за час багатовікового їх вирощування неодноразово переглядалася, аби узгодити її з постійним розширенням світового асортименту. Наразі Всесвітня федерація спілок виробників троянд установила поділ сортів на 37 окремих груп та підгруп. Попри існування офіційних класифікацій, фахівці що працюють із селекцією та інтродукцією троянд, не завжди користуються однаковими назвами груп і класів. Підходи до систематизації сортів також відрізняються між країнами. У каталогах спеціалізованих розсадників Великої Британії, Ірландії та Нової Зеландії троянди патіо подані як самостійна група [4].

У низці довідкових видань і комерційних каталогів Німеччини мініатюрні троянди та троянди *Patio* подають разом як одну категорію. У США групу *Patio* взагалі не виділяють, зараховуючи такі сорти до карликових форм у межах флорібунди. Наприклад, у деяких каталогах сорти *Alegria* та *Cinderella* подаються як представники мініатюрних троянд [4].

Бутони сорту *Alegria* дрібні, округло-овальні, насиченого оранжевого кольору. Квітки яскраво-оранжеві, інколи з кораловим відтінком (рис. 1), чашоподібні, напівмахрові (18-25 пелюсток), діаметром 4-6 см, зі слабким ароматом, у суцвіттях зазвичай формується 3-5 квіток. Листя дрібне, темно-зелене з легким блиском. Кущ компактний, добре розгалужений 35-40 см заввишки; пагони тонкі, з незначною кількістю колючок. Цвітіння рясне й тривале повторюється хвилями протягом сезону. Сорт вирізняється доброю стійкістю до грибкових хвороб [21, 23].



Рис 1. Кущова троянда *Alegria* [21]

У сорту *Cinderella* бутони мають овальну форму та ніжне рожеве забарвлення. Квітки світло-кремово-рожеві, з характерним конічним центром, густомахрові (46-60 пелюсток), діаметром 3-5 см, із легким приємним ароматом (рис. 2). Листя дрібне, темного відтінку, завбільшки приблизно 1,7×3,0 см. Кущ компактний, не перевищує 30 см заввишки. Пагони гладенькі, без колючок. Цвіте сорт рясно й повторно, характеризується високою стійкістю до основних хвороб [4, 19]



Рис 2. Кущова троянда Cinderella [19]

У той час як *El Toro*, *Jana*, *Trumpeter* і *Tamango* у класифікації згадуються серед сортів флорібунди [6].

Для сорту *El Toro* характерно що бутони мають яйцеподібну форму та темно-червоне забарвлення. Квітки насичено червоні, чашоподібні, середньомахрові (приблизно 24-29 пелюсток), досягають близько 7 см у діаметрі, мають слабкий аромат і формуються у суцвіттях по 4 штуки (рис. 3). Листя блискуче та зелене, складається з 5-7листочків розміром 2,8×3,5 см. Кущ низькорослий і компактний, висотою до 40 см; пагони помірно вкриті колючками. Цвіте сорт не надто рясно. Може уражуватися борошнистою росою та чорною плямистістю [6,22].



Рис 3. Кущова троянда El Toro [22]

Троянда сорту *Jana* належить до групи *Patio* й характеризується махровими кремовими квітками, які зібрані у великі суцвіття (рис. 4) [24].



Рис 4. Кущова троянда Jana [18]

Бутони чашоподібної форми досягають приблизно 4 см у діаметрі та складаються з щільно розташованих пелюсток до 35 штук. На одному суцвітті зазвичай формується від 5 до 15 квіток. Цвіте сорт хвилеподібно з червня до вересня, при цьому квітки зберігають декоративність тривалий час і не обсіпаються. Кущі компактні, заввишки близько 40-60 см, добре розгалужені, з густим темно-зеленим листям. Сорт демонструє хорошу морозостійкість і відзначається стійкістю до основних захворювань [18, 24].

Сорт *Trumpeter* вирізняється насиченим червоно-оранжевим забарвленням квіток (рис. 5) [20].



Рис 5. Кущова троянда Trumpeter [20]

Бутони округлі близько 5-7 см, чашоподібні, напівмахрові. Пелюстки щільні, яскраві, не втрачають колір під впливом сонця. Квітки зібрані у пишні суцвіття, одночасно може розкриватися 5-10 бутонів, аромат слабкий або майже непомітний. Кущ низькорослий і густий, близько 40-60 см заввишки, без колючок. Листя темно-зелене, блискуче, щільної структури. Сорт квітує дуже рясно та повторно, утворюючи хвилі цвітіння протягом усього сезону [20].

Троянда *Tamango* вирізняється насиченим червоно-малинового забарвленням квіток (рис. 6). Бутони чашоподібні, густомахрові, містять приблизно 30-45 пелюсток, діаметр розкритої квітки становить до 5 см. Суцвіття щільні, на одному пагоні розкривається від 6 до 10 квіток. Аромат ніжний з легкими фруктовими нотами. Кущі низькорослі приблизно 60 см. Сорт *Tamango* має підвищену стійкість до основних грибкових інфекцій, зокрема чорної плямистості та іржі. Добре переносить дощ, квітки не пошкоджуються і не обсіпаються, морозостійкий [4, 17].



Рис 6. Кущова троянда *Tamango* [17]

Особливу цінність троянд групи *Ratio* становить їх ремонтантне (повторне) цвітіння, вони стійкі до хвороб та невибагливі у догляді [6].

Таким чином троянди групи *Patio* – це компактні, низькорослі кущові троянди, які зберігають декоративність упродовж усього сезону. Вони характеризуються повільним, але рівномірним ростом, утворюють щільну крону та рясно цвітуть навіть за мінімального догляду. Сортова група вирізняється високою стійкістю до хвороб, добрим відновленням після обрізки та здатністю тривалий час цвісти хвилями. Завдяки компактності та врівноваженій кореневій системі троянди *Patio* добре пристосовані до вирощування в контейнерах і на невеликих ділянках [17].

1.2. Сучасні підходи та проблеми мікроклонального розмноження троянд

Мікроклональне розмноження троянд є ефективним методом отримання високоякісного, генетично однорідного посадкового матеріалу, що забезпечує швидке вегетативне відтворення цінних сортів. Сучасні підходи базуються на використанні стерильних культур *in vitro*, оптимізованих поживних середовищ (переважно на основі Мурасіге та Скуга) та регуляторів росту, які стимулюють проліферацію пагонів і коренеутворення [16].

Процес мікроклонального розмноження охоплює чотири основні етапи. Спочатку експланти вводять в асептичні умови, відбирають живці з материнської рослини, стерилізують їх і переносять на поживне середовище для ініціації росту пагонів забезпечуючи контрольовані умови температури та освітлення. На етапі мікророзмноження проводять послідовні цикли поділу новоутворених пагонів у стерильних умовах і перенесення їх на відповідне середовище для формування нового покоління пагонів з активованих частин рослин. Далі відбувається укорінення регенерантів, живці переносять на середовище що стимулює ризогенез, де вони формують кореневу систему без подальшого поділу. Завершальним етапом є адаптація до умов *in vivo*, коли сформовані рослини очищують від залишків середовища, обробляють

укорінювачем і висаджують у торф'яні чи кокосові таблетки, після чого їх переносять у горщики, звідти у теплицю та у відкритий ґрунт [16, 32].

Метод мікроклонального розмноження дає змогу використовувати мінімальну кількість вихідного матеріалу та отримувати генетично ідентичні рослини, що особливо важливо для рідкісних, цінних або малопродуктивних видів. Технологія забезпечує підтримання генетично стерильних генотипів, збереження видів, які погано пристосовуються до природних умов, а також довготривале утримання зразків. Основна перевага даного методу дозволяє швидко збільшувати кількість нових сортів і гібридів, накопичувати рослинний матеріал упродовж року й ефективно планувати його використання. Він забезпечує отримання великої кількості рослин на обмеженій площі, активує ріст за рахунок переривання періоду спокою та відкриває можливість автоматизації процесів і одержання форм із мінливою спадковістю [16, 32].

Проблеми які виникають під час клонального мікрозмноження троянд пов'язані з тим що ці рослини дуже чутливо реагують на найменші зміни умов культивування *in vitro*. У вирощених рослин демонструється нестійкість до складу поживного середовища та режимів освітлення, що ускладнює підтримання стабільного росту. Однією з найчастіших труднощів є вітрифікація, яка з'являється за надмірної вологості або неправильно підібраної концентрації гелеутворювальних речовин та інтенсивного освітлення. Поряд із цим часто спостерігають різні прояви стресових реакцій, зокрема хлороз, ослаблення тургору чи деформації пагонів і листків. Різні сорти мають неоднаковий потенціал регенерації що призводить до варіабельності результатів і потребує налаштування умов для кожного генотипу. Значний вплив має ризик контамінації, а також чутливість до фітогормонів, яка інколи спричиняє надмірний розвиток калюсу або пригнічення ростових процесів. Усі ці чинники ускладнюють створення універсального протоколу мікроклонального розмноження троянд та вимагають індивідуального підходу до кожного етапу роботи [26].

1.3. Фотоморфогенез рослин: механізми та регуляція світлом

Світло є одним із ключових факторів, що визначає ріст і розвиток рослин, адже воно має складну природу та характеризується низкою параметрів, таких як спектральний склад, інтенсивність, добова кількість отриманої радіації, тривалість освітлення та його напрямок. Для рослин світлова енергія є основним джерелом живлення, яке регулює численні процеси росту, зокрема фотоморфогенез [31].

Рослини використовують світло не лише для фотосинтезу, світлові сигнали допомагають їм синхронізувати з умовами довкілля час запуску чи завершення важливих етапів розвитку, зокрема переходу до цвітіння або входу в стан спокою (рис. 7) [35].

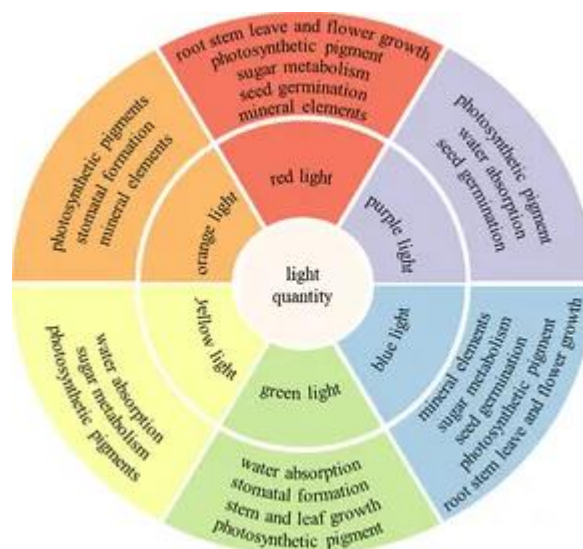


Рис. 7. Вплив різних видів світла на рослини [36]

Рослини сприймають основні характеристики світлового середовища за допомогою спеціалізованих фоторецепторів, здатних високоточно реєструвати зміни спектрального складу – від УФ-В до дальньочервоного діапазону. Ці рецептори локалізовані практично в усіх органах рослини. Вузькоспектральна селективність поглинання властива різним групам фоторецепторів, забезпечує формування специфічних фізіологічних відповідей на світлові сигнали, зокрема на зміну інтенсивності, спектральної

якості та тривалості освітлення. До цієї групи фоторецепторів належать сенсори червоного (R) і дальньочервоного світла – фітохром (PHY); рецептори УФ-А, синього (B) та, ймовірно, зеленого (G) світла – криптохром (CRY), фототропіни (PHOT) та білки родини ZEITLUPE (ZTL/FKF1/LKP2); а також рецептор УФ-В діапазону – білок UVR8 (рис. 8). Крім того, припускають існування в рослин додаткових, поки що не ідентифікованих фоторецепторів, зокрема потенційно специфічних до G [29, 36].

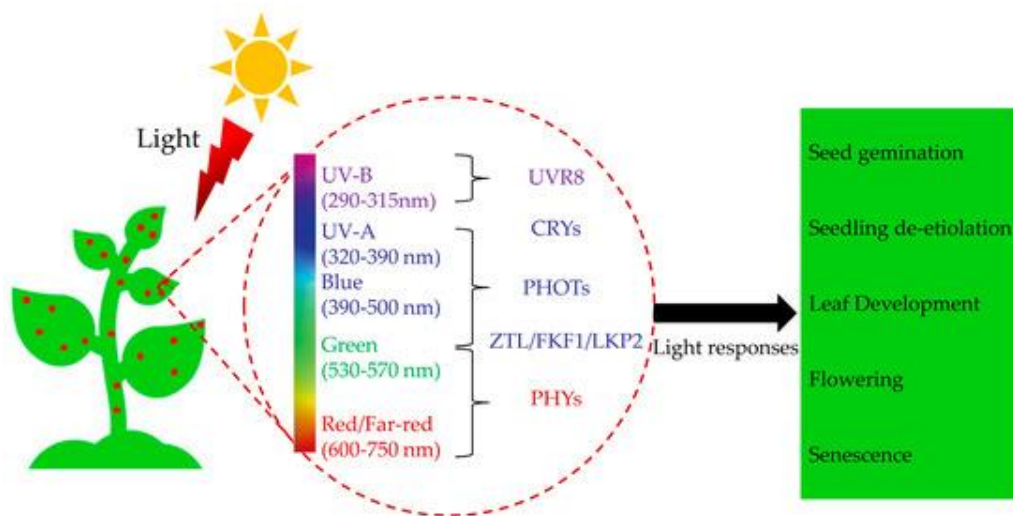


Рис. 8. Схема що зображує участь світла на різних стадіях фотоморфогенезу [29]

Однією з ключових і найбільш вивчених фоторецепторних систем рослин є фітохромна система, що реагує на світлові сигнали в діапазонах червоного (близько 660 нм) та дальньочервоного (приблизно 730 нм) спектра [36].

У хлоропластів відбувається процес поглинання світла чому сприяють пігменти такі як хлорофіл. Червоне світло відіграє ключову роль у розвитку рослин, оскільки хлорофілові пігменти поглинають його значно ефективніше, ніж інші діапазони хвиль. За умов достатньої інтенсивності червоного світла фотосинтетична активність рослин зростає та сприяє поліпшенню їхнього фізіологічного стану. Червоне світло комплексно впливає на фізіологію рослин, воно виконує роль сигналу який регулює ключові етапи їх розвитку.

R є критично важливим для проростання насіння, без достатньої кількості червоного діапазону біохімічні реакції необхідні для запуску ростових процесів не можуть повноцінно відбуватися. Забезпечення рослин червоним світлом підсилює фотосинтетичну активність сприяючи утворенню більшої кількості цукрів і вуглеводів, що забезпечує інтенсивніший ріст. У мікроклональному розмноженні червоне світло впливає на морфогенез, зокрема стимулює видовження стебла й індукує цвітіння [27].

Криптохроми (CRY) – це фотосенсорні рецептори, що регулюють ріст і розвиток рослин, а також циркадний годинник у рослин і тварин. Синє світло має глибокий вплив на фізіологію рослин, жорстко регулюючи ефективність фотосинтезу, процеси розвитку та мережі сигналізації стресу [34].

У діапазоні фотосинтетично випромінювання довжини хвиль синього кольору унікальним чином активують криптохроми та фототропіни, які у свою чергу, регулюють процеси переміщення хлоропластів, фототропізм та транскрипційні корекції, пов'язані зі зменшенням стресу. Під дією B у культурі *in vitro* відбувається пригнічення елонгації та формування компактного габітусу пагонів, скорочуються міжвузля та підвищується щільність і насиченість хлорофілом листкових пластинок. Воно також впливає на гормональний баланс зменшуючи ефективну дію ауксинів у міжвузлях і підсилює відповідь на цитокініни, це забезпечує активну меристемну проліферацію при мінімальному витягуванні тканин [28].

Зелене світло під час мікроклонального розмноження виконує модулюючу функцію, яка впливає на фотоморфогенез переважно через взаємодію з криптохромами та іншими фоторецепторними системами. Воно частково послаблює реакції що індуковані синім світлом. Надмірне ущільнення та пригнічення елонгації пагонів сприяє формуванню більш збалансованого морфотипу. Зелене світло забезпечує глибше проникнення фотонів у тканини експланта, підтримує рівномірний розвиток мезофілу та стабільний ріст за рахунок зниження стресових реакцій. У фотосинтетичному апараті воно бере участь у регуляції енергетичного розподілу між

фотосистемами підтримуючи базову фотосинтетичну активність у культурах *in vitro*. У результаті зелене світло виступає вторинним, але важливим чинником, що уточнює та коригує морфогенетичні реакції рослин і сприяє однорідності отриманих мікропагонів [33].

1.4. Антистресові препарати у культурі *in vitro*

Антистресові препарати у культурі *in vitro* застосовують для зниження інтенсивності оксидативного, осмотичного та токсичного стресу, який виникає внаслідок механічної дії на експлант, високої вологості, обмеженої газообмінності та дії компонентів поживного середовища. До найпоширеніших належать антиоксиданти, вони запобігають окисненню фенольних сполук і потемнінню тканин – аскорбінова кислота, лимонна кислота, поліфенолоксидазні інгібітори. Сорбітол, поліетиленгліколь та амінокислоти знижують осмотичний стрес і стабілізують клітинний тургор. Поліаміни (путресцин, спермідин, спермін) та пролін регулюють ростові процеси, підвищують мембранну стабільність і зменшують негативні ефекти абіотичних факторів. Адсорбенти (зокрема активоване вугілля) поглинають інгібітори росту та токсичні метаболіти, покращуючи регенераційні показники. Застосування антистресових препаратів сприяє підвищенню життєздатності експлантів, стабілізації морфогенезу та зменшенню частоти некрозів у культурі *in vitro* [25].

Аскорбінова кислота є одним із найпоширеніших антиоксидантів. Її присутність у середовищі сприяє нейтралізації активних форм кисню, стабілізації клітинних мембран і підтриманню окисно-відновного балансу для нормального проходження морфогенезу. Включення аскорбінової кислоти у середовище зменшує накопичення фенольних сполук і запобігає потемнінню та інгібуванню росту експлантів. У більшості випадків її застосовують коли ризик оксидативного ураження клітин особливо високий [30].

Нікотинова кислота виконує функцію кофактора окисно-відновних реакцій і регулятора енергетичного метаболізму. Додавання до середовища стимулює клітинний поділ, підвищує регенераційну здатність експлантів і покращує перебіг морфогенезу, особливо на ранніх етапах формування пагонів і коренів [25].

Тіамін є коферментом реакцій вуглеводного метаболізму, забезпечуючи клітини необхідною енергією. Він підвищує життєздатність експлантів, активує поділ і диференціацію клітин та сприяє стабільному перебігу морфогенезу, зокрема на етапі індукції пагонів [25].

Піридоксин – забезпечує правильний перебіг амінокислотного метаболізму та синтезу білків, що знижує метаболічний стрес і підтримує активність клітин. Завдяки цьому покращується формування меристематичних зон, стабілізується розвиток пагонів і підвищується частота коренеутворення [30].

Гліцин підтримує базовий метаболізм клітин, він виконує роль джерела амінного азоту та компоненту синтезу білків і нуклеотидів. Його наявність у середовищі сприяє формуванню меристематичних структур, покращує диференціацію тканин і стабілізує ранні етапи морфогенезу особливо під час індукції пагонів та коренів [25].

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ, УМОВИ І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1. Місце та об'єкт дослідження

Дослідження було проведене в лабораторії мікроклонального розмноження, що розміщена на території Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України в місті Умань Черкаської області.

Національний дендрологічний парк «Софіївка» НАН України має наукову спрямованість діяльності. Працівники парку здійснюють фундаментальні й прикладні дослідження у сферах біотехнології, паркобудівництва, біології та інших дотичних науково-технічних напрямів. Основною метою наукової роботи є поглиблене вивчення актуальних питань цих галузей та впровадження отриманих результатів у практику.

Науково-дослідний інститут Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України проводить прогностичні дослідження та здійснює наукову експертизу відповідно до визначених напрямів роботи. Установа організовує конференції, симпозіуми, наради, виставки та наукові школи, зокрема й заходи міжнародного рівня.

Крім того, інститут веде активну наукову, освітню та просвітницьку діяльність, публікує результати своїх досліджень у засобах масової інформації, наукових виданнях, журналах та інших публікаціях. Додатково парк надає платні послуги в межах, передбачених законодавством для державних наукових установ і об'єктів природно-заповідного фонду.

Науково-дослідний інститут складається з 3 відділів:

1. Відділ дендрології і паркобудівництва:

- лабораторія ландшафтного дизайну і проектування ;
- насіннева лабораторія;
- підрозділ дендрологів;

2. Відділ генетики, селекції та репродуктивної біології рослин:

- лабораторія мікроклонального розмноження;
- лабораторія захисту рослин.

3. Відділ трав'янистих рослин:

-Науковий гербарій Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України (SOF).

Головне завдання відділу декоративних і плодових рослин полягає у проведенні фундаментальних і прикладних досліджень у сферах генетики, селекції, репродуктивної біології та біотехнології рослин. Відділ також займається збереженням та постійним оновленням колекційного фонду, а також удосконаленням методів розмноження і вирощування садивного матеріалу для озеленення.

Основні напрями наукової роботи включають створення нових генотипів рослин із високими декоративними, науковими та екологічними властивостями, розробку, зокрема біотехнологічних, методів прискореного клонування цінних деревних рослин, які мають важливе значення для декоративного садівництва, сільського господарства та фармації, з метою отримання здорового елітного посадкового матеріалу, удосконалення технологій розмноження, вирощування та впровадження як інтродукованих, так і місцевих декоративних і плодових рослин, вивчення ринку та розширення асортименту інтродукованих і аборигенних видів, придатних для озеленення та приватних господарств у різних фізико-географічних зонах України, впровадження у культуру рідкісних і зникаючих видів, вирощування оздоровленого садивного матеріалу за власними методиками, а також захист рослин від шкідників і хвороб.

У структурі відділу діють науково-дослідні лабораторії мікроклонального розмноження та захисту рослин, дослідно-виробнича ділянка площею близько 20 га та фундуковий сад на 10 га.

Лабораторія мікроклонального розмноження виконує ключові завдання, зокрема підбір оптимальних живильних середовищ для розмноження різних рослинних видів *in vitro*, визначення умов культивування та вкорінення,

адаптацію рослин до зовнішніх умов і їх подальше дорошування до товарних стандартів. Крім того, лабораторія займається збереженням генофонду рідкісних і зникаючих видів, розробляючи технології, спрямовані на їх розвиток з метою охорони і відновлення природних популяцій.

Лабораторія включає кілька відділів: приміщення для приготування поживних середовищ, кімнату для миття та зберігання лабораторного посуду, операційну, дві культуральні кімнати та автоклавну (рис. 9).

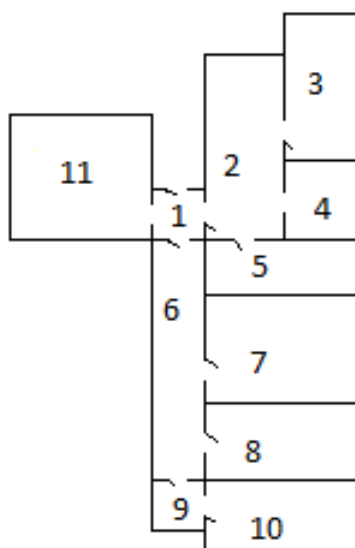


Рис. 9. Схема лабораторії мікроклонального розмноження НДП «Софіївка» НАНУ

(1-коридор, 2-автоклавна кімната, 3-кімната для миття та зберігання посуду, 4-кімната для приготування середовищ, 5-кімната для зберігання документів, 6-коридор, 7-8-культуральні кімнати, 9-коридор, 10-операційна кімната, 11-адаптаційна)

Лабораторія обладнана сучасною технікою, необхідною для мікроклонального розмноження рослин. В ній є стерильні бокси для роботи з культурами, автоклави для стерилізації поживних середовищ і лабораторного посуду, а також інкубатори і кліматичні камери, які підтримують оптимальні умови для росту рослин. Крім того, використовуються ламінарні шафи, мікроскопи та прилади для приготування поживних середовищ і контролю їхніх властивостей, що гарантує високу ефективність і точність на всіх етапах роботи.

Після формування якісної рослини-регенеранта її переносять із умов *in vitro* у природне середовище (*in vivo*), де вона проходить адаптацію – спочатку в спеціальній кімнаті для акліматизації, потім у теплиці, а згодом висаджується на розсадник. Надалі ці рослини використовуються для озеленення парку або продаються. У лабораторії отримують мікросаджанці плодових і декоративних дерев, плодово-ягідних культур та квіткових рослин, які успішно пристосовуються до зовнішніх умов.

Об'єктом дослідження виступають троянди групи *Patio*, зокрема сорти *Alegria*, *Cinderella*, *El Toro*, *Jana*, *Tamango* та *Trumpeter*. Ці сорти вирізняються компактністю, високою декоративністю та здатністю до успішного вирощування в умовах *in vitro*.

2.2. Методика виконання роботи

Тема дослідження – Фотоморфогенез у культурі *in vitro* троянд групи *Patio* за впливу спектрального складу освітлення, фітогормонального фону та антистресових факторів.

Мета дослідження – дослідити вплив спектрального складу освітлення та застосування антистресових препаратів на процеси фотоморфогенезу у культурі *in vitro* троянд групи *Patio* з метою оптимізації умов їх культивування та покращення якості садивного матеріалу.

Об'єкт дослідження – троянди групи *Patio* вирощені у культурі *in vitro*, а саме сорти *Alegria*, *El Toro*, *Cinderella*, *Jana*, *Trumpeter* та *Tamango*, як матеріал для вивчення фотоморфогенетичних процесів під впливом різних світлових та антистресових факторів.

Предмет дослідження – фотоморфогенетичні реакції експлантів троянд групи *Patio* на різні спектральні режими освітлення та антистресових препаратів на морфогенез у культурі *in vitro*.

Завдання дослідження:

1. Дослідити загальні особливості росту та розвитку експлантів у базових умовах культивування *in vitro*, зокрема визначити морфометричні показники та оцінити виживаність рослин.

2. Проаналізувати вплив різних спектральних режимів освітлення на фотоморфогенез експлантів при стандартному фітогормональному фоні.

3. Встановити вплив світлових комбінацій (R:B=1:1, R:B=4:1, B:G=1:1) на показники фотоморфогенезу експлантів при стандартному фітогормональному фоні.

4. Дослідити спільний вплив антистресових препаратів та оптимізованого фітогормонального фону при різних комбінацій освітлення на якість та морфогенетичну стабільність експлантів.

5. Встановити економічну ефективність використання різних різних спектральних режимів освітлення на фотоморфогенез. у культурі *in vitro* троянд групи *Patio*

Для оцінки початкових стадій морфогенезу та встановлення контрольних параметрів росту експлантів троянд групи *Patio* було проведено комплекс спостережень за їх поведінкою в стандартних умовах *in vitro*. Цей етап є вирішальним, він дозволяє визначити природний характер росту без впливу зовнішніх факторів, а також сформувати базу для подальших експериментів із модифікованим спектральним освітленням, фітогормональним складом середовища та антистресовими препаратами. Методологія включає підготовку рослинного матеріалу, умови культивування, підхід до морфологічних вимірювань та критерії вимірювання морфологічних ознак, що забезпечує точність і відтворюваність отриманих результатів.

Розмноження відбувалося за стандартною схемою мікроклонального розмноження рослин, що включало 4 етапи, це введення експланта в асептичні умови, мікророзмноження, укорінення рослин-регенерантів та адаптацію до умов *in vivo*.

Для введення в культуру *in vitro* використовували по 10 пазушних бруньок розміром 0,5–0,8 см, відібраних із здорових рослин-донорів,

вирощених у закритому ґрунті. Відбір проводили на початку березня, у фазі активної вегетації. Первинну стерилізацію здійснювали 0,5% розчином препарату «Септодор»: попередньо бруньки промивали водою, після чого занурювали у стерилізуючий розчин на 5 хвилин із легким струшуванням. Далі експланти промивали стерильною дистильованою водою 3–5 разів для повного видалення залишків препарату й запобігання токсичній дії.

Основна стерилізація відбувалася при застосуванні 0,1% розчину сулими близько 1 хвилини. Культивування відбувалося на середовищі Мурасіге-Скуга (табл. 1).

Таблиця 1

Склад середовища для мікроклонального розмноження, мл/л

№	Компонент	Середовище для розмноження
1	Макросолі	100
2	Мікросолі	10
3	Fe-хелат	5
4	Тіамін	1
5	Мезоінозит	100
6	Піродиксин	0,5
7	Нікотинова кислота	1
8	Аскорбінова кислота	25
9	Гліцин	1
10	Глюкоза	30
11	Сахароза	-
12	БАП	1
13	ІМК	-

У якості желуючого компонента використовували 7 г агар-агару, який розчиняли у 300 мл дистильованої води. Цю суміш поміщали в автоклав при 140 °С та тиску 1,4 атм протягом 40 хвилин для набухання. Решту компонентів

змішували окремо, доводили об'єм до 700 мл дистильованою водою і регулювали рН за допомогою натрій гідроксиду та фосфорної кислоти до значення рН 5,72. Після набухання агар з'єднували з розчином, підігрівали до кипіння і розливали по ємностях. Потім поживне середовище стерилізували в автоклаві при 110 °С і 1,1 атм протягом 30 хвилин, після чого переносили в культуральну кімнату для стабілізації.

Всі маніпуляції з рослинними експлантами відбувалися у ламінар-боксах в асептичних умовах. Культивування проводилося при стандартних умовах: температурі $25 \pm 2^\circ\text{C}$, освітленості в діапазоні 1500-3000 люкс (біле світло LED), відносній вологості повітря 65-70% та фотоперіоді 16 годин.

Для визначення контрольного варіанту використовували не менше 30 експлантів на сорт (по 3×10 у 3 реплікаціях), повтори застосовувалися для зменшення похибки. Спостереження за висадженими експлантами проводилося щоденно в перші 14 діб (для контролювання контамінацій та відновлення), потім через кожні 7 діб до 28–35 днів культивування. Ключова часова точка для фіксації морфометрії 28 доба після посадки.

Виживаність (%) обчислювали за формулою:

$$B = \frac{N_g}{N_z} * 100 \quad (1)$$

де B – виживаність експлантів, %

N_g – кількість живих експлантів, шт

N_z – загальна кількість експлантів, шт

Контамінацію визначали за формулою:

$$B = \frac{N_k}{N_z} * 100 \quad (2)$$

де B – виживаність експлантів, %

N_k – кількість контамінованих експлантів, шт

N_z – загальна кількість експлантів, шт

Вимірювали висоту пагона (від основи до верхівки) – штангенциркулем. Крім того підраховували кількість листків на пагоні, кількість міжвузлів,

інтенсивність кушіння – кількість бічних пагонів на експланті та ознаки вітрифікації.

Отримані результати піддавалися статистичній обробці за допомогою програмного пакета Excel 2020. Достовірність відмінностей між контрольними та дослідними варіантами визначали з використанням t-критерію Стюдента.

Для оцінки впливу моноспектрального освітлення на морфогенетичні показники експлантів, досліджували такі показники: довжину пагонів, кількість листків, довжину міжвузлів та утворення бічних пагонів при стандартному фітогормональному фоні. Для порівняння використовували універсальне спектральне освітлення як контроль. Вивчення окремих спектрів було важливим, оскільки дозволило підібрати оптимальні співвідношення світлових режимів для стимуляції росту та розвитку.

Для проведення дослідження застосовували чотири режими освітлення: три моноспектральні – червоне (Red, R), синє (Blue, B) та зелене (Green, G) та контрольне повноспектральне освітлення (White, W). У таблиці 2 зазначено яка модель приладу, довжина хвилі та інтенсивність PAR застосовувалося для проведення дослідження.

Таблиця 2

Параметри дослідження

№	Тип освітлення	Прилад	Довжина хвилі(нм)	Інтенсивність PAR ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
1	Біле (контроль)	LED панель Roleadro 45W	700	50
2	Червоне (R)	LED модуль Mars Hydro TS 1000	660	50
3	Синє (B)	LED модуль Mars Hydro TS 1000	450	50
4	Зелене (G)	LED модуль Sanlight Q1W	520	50

Кожен спектр подавався на постійній основі протягом усього періоду культивування (28 днів) з інтенсивністю $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ та при стандартних умовах: температурі $25\pm 2^\circ\text{C}$, відносній вологості повітря 65-70% та фотоперіоді 16/8 годин.

Рослині експланти розміщували на рівній відстані від світлових модулів (25 см) для забезпечення однорідного освітлення. Досліджували такі параметри: ріст пагонів, листкоутворення, довжину міжвузлів та розгалуження експлантів, також рівень вітрифікації та стресу. Отримані дані використовували як основу для підбору оптимальних комбінацій світлових спектрів для рослинних експлантів в умовах *in vitro*.

Згідно схеми дослідження використовували три варіанти комбінацій світла, що зазначено у таблиці 3.

Таблиця 3

Комбіновані спектральні режими освітлення

№	Комбінація освітлення	Співвідношення
1	R:B	1:1 (50% червоного : 50% синього)
2	R:B	4:1 (80% червоного : 20% синього)
3	B:G	1:1 (50% синього : 50% зеленого)

Для режиму R:B = 1:1 причиною вибору було збалансувати вплив червоного та синього світла, для створення співвідношення «золотої середини», де червоний спектр забезпечував помірне видовження пагона, а синій впливав на стимулювання листкоутворення та розгалуження. Вибір режиму R:B = 4:1 був зумовлений щоб оцінити домінування червоного спектра, який активує видовження пагона, тоді як невелика частина синього впливає на пом'якшення прояву етіоляції та коригує листкоутворення. Режим освітлення B:G = 1:1 було обрано з метою підсилення листкоутворення та розгалуження за рахунок синього спектра при одночасному впливі зеленого

світла на фотосинтез. Рівні частки обох спектрів створюють нейтральні умови без домінування одного з них.

Дослідження відбувалося у культуральній кімнаті, параметри кімнати були стандартними. Освітлення задавалося світлодіодними для червоного (пік ≈ 660 нм), синього (пік ≈ 450 нм) та зеленого (пік ≈ 520 нм) діапазонів. Для кожної комбінації встановлювали відповідну пропорцію сумарної фотонної потокової щільності (PAR), щоб загальний PAR становив $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Параметри спектра та співвідношення каналів були запрограмовані апаратно і перевірялися спектрометром перед початком експерименту. На 28 день відбувалися визначення параметрів дослідження: довжина пагона та міжвузля, кількість листів та бічних пагонів, також ознаки вітрифікації та стресу. Обробка даних відбувалася згідно вище згаданого методу.

Наступним етапом дослідження було коригування складу середовища, для розмноження з метою зменшення проявів вітрифікації та стресу у експлантів. Відбувалося збільшення концентрацій антистресових препаратів – аскорбінової кислоти, нікотинової кислоти, тіаміну, піридоксину та гліцину, залежно від комбінації освітлення. Також до середовища додавали ауксин індоліл-3-масляна кислота (ІМК) для пригнічення росту пагонів (табл. 4). Концентрації були підібрані так щоб оптимізувати водний баланс, знизити оксидативний стрес та підтримати нормальний морфогенез рослин.

Таблиця 4

Концентрація антистресових препаратів у складі поживного середовища при різних комбінаціях освітлення, мл/л

№	Антистресові препарати	Комбінація освітлення		
		R:B = 1:1	R:B = 4:1	B:G = 1:1
1	Аскорбінова к-та	30,0	35,0	27,0
2	Нікотинова к-та	1,2	1,5	1,1
3	Тіамін	1,0*	1,3	1,0*
4	Піридоксин	0,5*	0,65	0,5*
5	Гліцин	1,2	1,5	1,0*

*концентрації антистресових препаратів які не змінювалися.

У середовищах для комбінацій R:B=1:1 та R:B=4:1 було внесено ІМК у концентрації 0,3 мл/л для стабілізації росту та 0,5 мл/л для стимулювання формування пагонів і листків. Мікроклональне розмноження здійснювалося за стандартною схемою, наведеною вище, із дотриманням однакових фізіологічних і фізико-хімічних умов культивування для всіх експериментальних варіантів. Параметри оцінки морфогенезу та росту залишалися незмінними, а отримані дані обчислювали відповідно до встановлених методик.

На завершальному етапі роботи було здійснено розрахунок економічної ефективності проведених досліджень [57].

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Загальні особливості росту експлантів троянд *Patio* у базових умовах *in vitro*

Після введення експлантів сортів групи *Patio* у стандартне живильне середовище спостерігалось швидке відновлення росту у більшості рослин. Експланти мали здоровий вигляд, листя насиченого зеленого кольору, без ознак некрозів або контамінації.

В ході дослідження було визначено відсоток виживаності та контамінації уведених експлантів у живильне середовище (табл. 5)

Таблиця 5

Вживаність та контамінація експлантів на 28 день культивування

Сорт	n	Вживаність		Контамінація	
		шт.	(%)	шт.	(%)
<i>Alegria</i>	30	29	96,7	1	3,3
<i>El Toro</i>	30	30	100,0	0	0,0
<i>Cinderell</i>	30	29	96,7	1	3,3
<i>Jana</i>	30	28	93,3	2	6,7
<i>Trumpeter</i>	30	29	96,7	1	3,3
<i>Tamango</i>	30	30	100,0	0	0,0

Після 28 днів культивування показники виживаності експлантів були високими та варіювали в межах 96,7–100%. Найвищу виживаність продемонстрували сорти *El Toro* та *Tamango*, у яких всі експланти залишалися життєздатними. Сорти *Alegria*, *Cinderella* та *Trumpeter* мали виживаність на рівні 96,7%, що також свідчить про стабільне відновлення меристемних тканин і добру адаптацію до умов культивування. Найнижчий показник виживаності зафіксовано у сорту *Jana* – 93,3%. Рівень контамінації загалом

залишався низьким та становив 0-3,3%, що підтверджує ефективність дотримання асептичних умов. Повна відсутність була у сортів *El Toro* та *Tamango*, тоді як у сортів *Alegria*, *Cinderella* та *Trumpeter* кількість контамінованих експлантів становила лише 3,3%. Найвищий показник контамінації –6,7% було відмічено у сорту *Jana* (рис. 10).

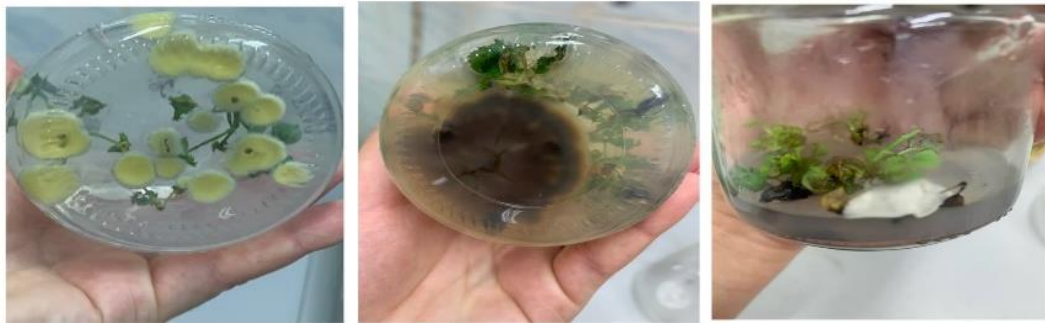


Рис. 10. Грибкова та бактеріальна контамінація у сорту *Trumpeter*

Після 28 днів культивування всі експланти сформували щільні та розвинені пагони, характерні для троянд групи *Ratio* (табл. 6). Ріст відбувався рівномірно у помірному темпі, без значних варіацій між повторами.

Таблиця 6

**Морфометричні характеристики експлантів
через 28 діб культивування**

№	Сорт	Довжина пагона, мм	Кількість листків, шт	Довжина міжвузля, мм	Кількість бічних пагонів, шт
1	<i>Alegria</i>	32,0 ± 4,2	6,0 ± 1,0	8,0 ± 1,0	2,5 ± 0,5
2	<i>Cinderella</i>	30,0 ± 3,0	5,5 ± 0,8	7,0 ± 1,0	2,0 ± 0,4
3	<i>El Toro</i>	35,0 ± 5,1	7,0 ± 1,2	9,0 ± 2,0	3,0 ± 0,6
4	<i>Jana</i>	29,0 ± 3,2	5,8 ± 0,7	7,0 ± 1,0	2,2 ± 0,3
5	<i>Tamango</i>	33,0 ± 4,0	6,2 ± 0,9	8,0 ± 1,0	2,7 ± 0,5
6	<i>Trumpeter</i>	28,0 ± 3,0	5,0 ± 0,6	7,0 ± 1,0	1,8 ± 0,4

На основі проведених морфометричних вимірювань було встановлено різницю між сортами за основними показниками росту. Найвищі значення

спостерігалися у сорту *El Toro*, пагони якого досягали 35,0 мм, що є найбільшим показником серед усіх досліджуваних сортів. Крім цього даний сорт формував найбільшу кількість листків – 7,0 мм, довжина міжвузля становила 9 мм, що також є найкращим показником. Важливим є й те, що троянди сорту *El Toro* утворювали найбільше бічних пагонів – 3,0 шт, що вказує на його значний потенціал до кущіння. Найнижчі значення параметрів зафіксовано у сорту *Trumpeter*, висота пагонів становила 28 мм, кількість листків – 5,0 шт, довжина міжвузля не перевищувала 7 мм, а кількість бічних пагонів була на рівні 1,1 шт. Сорт *Trumpeter* виявився найбільш слабким за темпами росту та розвитку. Сорти *Alegria*, *Tamango*, *Cinderella* та *Jana* займали проміжне положення за більшістю показників, демонструючи стабільний ріст і помірне розгалуження.

У рослин-експлантів всіх сортів листки були насичено зеленого забарвлення, без ознак хлорозу чи пошкоджень. Листкові пластинки були типової форми для даної групи троянд, з жилкуванням та зубчастими краями. Стебла сформувалися прямі, міцні та без витягування, з гладкою поверхнею та помірною товщиною. Щільність тканин оцінювали візуально: пагони були еластичними, не ламалися при легкому згині. Загальний морфологічний стан рослин відповідав нормі та не свідчив про стресові реакції.

Результати які були отримані у даному пункті в подальшому використовувалися як контрольний варіант для порівняння змін.

3.2. Вплив спектрального складу освітлення на фотоморфогенез експлантів при стандартному фітогормональному фоні

На другому етапі було досліджено вплив моносектрального червоного освітлення на морфогенетичні реакції експлантів сортів в умовах *in vitro* при стандартних гормональних умовах поживного середовища, що і виступало фітогормональним фоном наших досліджень (табл. 7). Під дією червоного

світла у всіх досліджуваних сортів відбувалося інтенсивне подовженням головного пагона, що відрізняло їх від контрольних значень.

Таблиця 7

Морфометричні показники експлантів при червоному спектральному освітленні

№	Сорт	Довжина пагона, мм	Кількість листків, шт	Довжина міжвузля, мм	Кількість бічних пагонів, шт
1	<i>Alegria</i>	40,4 ± 5,4	5,0 ± 0,8	10,0 ± 2,5	1,8 ± 0,4
2	<i>Cinderella</i>	37,6 ± 4,3	4,8 ± 0,7	9,0 ± 2,2	1,5 ± 0,3
3	<i>El Toro</i>	44,6 ± 6,5	6,0 ± 1,0	11,0 ± 2,7	2,1 ± 0,4
4	<i>Jana</i>	35,3 ± 4,4	5,0 ± 0,7	9,0 ± 2,3	1,6 ± 0,3
5	<i>Tamango</i>	41,2 ± 5,2	5,3 ± 0,9	10,0 ± 2,2	2,0 ± 0,4
6	<i>Trumpeter</i>	34,4 ± 4,3	4,2 ± 0,6	9,0 ± 1,3	1,3 ± 0,3

Найбільше подовження спостерігалось у сорту *El Toro*, довжина його пагона становила 44,6 мм, що становить збільшення приблизно на 26 %. Сорти *Alegria*, *Cinderella* та *Tamango* демонстрували аналогічну тенденцію. Найменше видовження спостерігалось у сорту *Trumpeter*, у якого цей параметр підвищився на 6,0 мм. Усі сорти відповідали загальній закономірності: червоне світло стимулює подовження первинного пагона експланта незалежно від його генотипу. Збільшення довжини пагона супроводжувалося подовженням міжвузлів. У сорту *El Toro* довжина міжвузля збільшилася на 3,0 мм, у *Alegria* та *Tamango* – 2,0 мм. Сорти *Alegria*, *Tamango*, *Cinderella* та *Jana* під дією червоного світла сформували міжвузля приблизно на 2 мм більше ніж у контрольному варіанті. Таким чином, дія червоного світла викликала подовження структури пагона, формуючи морфотип із рисами легкої етіолоції.

Негативним проявом дії червоного спектра освітлення стало зменшення кількості листків. У *Alegria* кількість листків зменшилася з 6,0 шт до 5,0 шт, така ж тенденція спостерігалася у троянд сорту *El Toro*, у них кількість листків зменшилася з 7,0 до 6,0 шт. У сортів *Trumpeter*, *Tamango* та *Jana*

спостерігалось зменшення кількості листків в середньому до 0,8 шт відповідно. Найменший показник зменшення відбувся у сорту *Cinderella* – з 5,5 до 4,8 штук, що в середньому становило 0,7 шт. Зменшення кількості листків було типовим для сигналів червоного світла, що свідчило про перерозподіл асимілятів на користь подовження пагона. Кількість бічних пагонів також знижувалася у всіх сортів, що вказує на пригнічення апікального домінування під дією червоного світла. У *Alegria* кількість бічних пагонів зменшилась із 2,5 до 1,8 шт, у *Cinderella* – з 2,0 до 1,5 шт, у *Tamango* – з 2,7 до шт. Найбільше пригнічення відмічалось у сорту *Trumpeter*, у якого цей показник зменшився на 0,5 штуки. Навіть у сорту *El Toro*, який у контролі мав найбільшу кількість бічних пагонів (3,0 шт), під дією спектрально освітлення цей показник знизився до 2,1 шт. Згідно з отриманими даними встановлено, що дія червоного світла формує морфогенетичний тип з рисами розрідженості пагонової системи та помірної етіюляції.

Для визначення вірогідності впливу спектрального складу освітлення та оцінки статистично значущих відмінностей між варіантами було проведено порівняння морфометричних показників експлантів, вирощених за білого (контроль) та червоного світла, із подальшим аналізом розбіжностей середніх значень. Аналіз морфометричних показників після 28 діб культивування показує, що за червоного освітлення у більшості сортів спостерігається статистично достовірне збільшення довжини пагона та міжвузля, оскільки приріст середніх значень перевищує межі стандартних відхилень. У сорту *Alegria* довжина пагона зростає з $32,0 \pm 4,2$ мм (біле світло) до $40,4 \pm 5,4$ мм (червоне світло), що виходить за межі перекриття SD і свідчить про вірогідну різницю. Подібна тенденція спостерігається у сортів *El Toro* ($35,0 \pm 5,1$ мм проти $44,6 \pm 6,5$ мм) та *Tamango* ($33,0 \pm 4,0$ мм проти $41,2 \pm 5,2$ мм). Кількість листків за червоного світла переважно залишається на рівні похибки, а межі SD перекриваються, що вказує на відсутність достовірної різниці за цим показником. Для кількості бічних пагонів у більшості сортів також спостерігається зниження відносно контролю, однак варіація суттєво

перекривається, у сорту *Alegria* $2,5 \pm 0,5$ проти $1,8 \pm 0,4$, тому різниця ймовірно недостовірна. Достовірні відмінності між контрольним і червоним освітленням стосуються передусім довжини пагонів і довжини міжвузля, тоді як кількість листків та бічних пагонів змінюється в межах статистичної похибки й не демонструє виражених вірогідних відмінностей.

Морфометричні показники експлантів за дії синього спектра освітлення демонструють помітні сортові відмінності (табл. 8). Синє світло позитивно вплинуло на розвиток пагонів, забезпечивши гармонійне співвідношення між їх довжиною та кількістю листків.

Таблиця 8

Морфометричні показники експлантів при синьому спектральному освітленні

№	Сорт	Довжина пагона, мм	Кількість листків, шт	Довжина міжвузля, мм	Кількість бічних пагонів, шт
1	<i>Alegria</i>	$25,4 \pm 3$	$7,5 \pm 1,2$	$6,0 \pm 1,0$	$3,5 \pm 0,6$
2	<i>Cinderella</i>	$23,1 \pm 3$	$6,8 \pm 1,0$	$5,6 \pm 1,0$	$2,8 \pm 0,5$
3	<i>El Toro</i>	$27,5 \pm 4$	$8,5 \pm 1,3$	$6,2 \pm 1,0$	$4,0 \pm 0,7$
4	<i>Jana</i>	$22,2 \pm 2$	$7,0 \pm 1,0$	$5,3 \pm 1,0$	$3,0 \pm 0,5$
5	<i>Tamango</i>	$26,3 \pm 3$	$7,3 \pm 1,1$	$6,1 \pm 1,0$	$3,6 \pm 0,6$
6	<i>Trumpeter</i>	$21,2 \pm 2$	$6,0 \pm 0,9$	$5,4 \pm 1,0$	$2,5 \pm 0,5$

Аналіз отриманих результатів показав, що на відміну від контрольного освітлення, рослинні експланти сортів *Alegria*, *Cinderella* та *Jana* при синьому спектральному освітленні формували відносно коротші пагони – $22,2$ – $25,4$ мм, що на $12,8$ – $9,6$ мм менші чим в контрольному варіанті, також фіксувалося зменшення міжвузля до 5 – 6 мм. В свою чергу це свідчить про стримання росту під впливом синього спектра та формування компактнішої пагіневої структури. Дана тенденція також спостерігалася і в сортів *El Toro*, *Tamango* та *Trumpeter*. При білому світлі їх довжина пагонів досягала $28,0$ – $35,0$ мм, тоді як при синьому освітленні зменшувалася до $21,2$ – $27,5$ мм. Такі результати

свідчать що синій спектр освітлення у всіх сортів призводив до зменшення довжини пагонів близько на 20–30%, що підтверджує його вплив на інгібування видовження стебла.

Утворення листа за синього спектра було більш інтенсивним. Для сортів *Alegria*, *Cinderella* та *Jana* кількість листків зростала на 1,3-1,5 шт. Аналогічна реакція була в сортів *El Toro* та *Tamango*, в яких кількість листків збільшилася до 8,5 шт та 7,3 шт. Також було встановлено, що при синьому спектрі освітлення рослини мали більшу здатність до розгалуження. При контрольному світлі показник бічних пагонів був в межах 1,8-2,7 шт, тоді як під дією синього світла він зростав до 2,5–4,0 шт. В результаті було визначено що під дією синього спектрального освітлення зростала меристематична активність. Розгалуження при контрольному варіанті освітлення більшість сортів формували 1,8–2,7 шт бічних пагонів, тоді як під дією синього спектра цей показник підвищувався до 2,5–4,0 шт. Найінтенсивніше реагували сорти *El Toro* та *Tamango*, у яких приріст кількості бічних пагонів становив близько 1,0 шт порівняно з контролем. Отримані дані підтверджують, що синє світло підсилює меристематичну активність. Найбільш чутливими до синього спектра в умовах *in vitro* виявилися сорти *El Toro*, *Tamango* та *Alegria*.

Порівняння морфометричних показників експлантів, вирощених за контрольного білого та синього спектрального освітлення, свідчить про статистично вірогідні відмінності між варіантами. У сорту *Alegria* довжина пагонів зменшилася з $32,0 \pm 4,2$ мм до $25,4 \pm 3,0$ мм, що становить близько 20–25% зниження, а різниця у 6-7 мм перевищує межі стандартного відхилення і підтверджує достовірність. Аналогічне скорочення довжини міжвузлів на 1,5-2,0 мм спостерігалось у більшості сортів, зокрема у *Cinderella* та *El Toro*, що також є статистично значущим. Водночас синє світло сприяло достовірному збільшенню кількості листків у середньому на 1,0-1,5 шт. Крім того, збільшення кількості бічних пагонів, зокрема у *El Toro* з $3,0 \pm 0,6$ до $4,0 \pm 0,7$ шт, також є вірогідним, оскільки розбіжності перевищують рівень варіації.

Наведені результати таблиці 9 демонструють морфометричні зміни експлантів троянд групи *Patio* під впливом зеленого спектрального освітлення.

Таблиця 9

Морфометричні показники експлантів при зеленому спектральному освітленні

№	Сорт	Довжина пагона, мм	Кількість листків, шт	Довжина міжвузля, мм	Кількість бічних пагонів, шт
1	<i>Alegria</i>	34,3 ± 4,0	5,8 ± 0,9	8,0±0,2	2,3 ± 0,5
2	<i>Cinderella</i>	31,7 ± 3,0	5,2 ± 0,8	7,0±0,3	1,9 ± 0,4
3	<i>El Toro</i>	37,3 ± 5,0	6,5 ± 1,1	9,0±0,1	2,7 ± 0,5
4	<i>Jana</i>	30,4 ± 3,0	5,5 ± 0,8	7,0±0,3	2,0 ± 0,4
5	<i>Tamango</i>	34,1 ± 4,0	6,0 ± 0,9	8,0±0,2	2,5 ± 0,5
6	<i>Trumpeter</i>	34,3 ± 4,0	5,8 ± 0,9	8,0±0,2	2,3 ± 0,5

Під зеленим освітленням у сортів *Alegria*, *Tamango* та *Trumpeter* формувалися пагони довжиною близько 34,1 мм, що перевищувало показники білого світла на 1,0-1,1мм. Максимальні значення зафіксовано у сорту *El Toro* – 37,3 мм, що на 2,3 мм більше від контролю. *Cinderella* та *Jana* демонстрували приріст, близький до контролю. На відміну від синього спектра, зелене світло не пригнічувало подовження стебла, а підтримувало й частково посилювало його. Кількість листків під зеленим світлом зменшувалася у більшості сортів. Так, *Alegria* формувала 5,8 шт проти 6,0 шт у контролі та 7,5 шт під синім світлом. Подібний рівень спостерігався у *Cinderella* та *Jana*. Навіть у високопродуктивного *El Toro* цей показник знижувався до 6,5 шт. Це вказує на те, що зелений спектр обмежує формування листкового апарату.

Довжина міжвузлів під дією зеленого спектра становила 8,0–10,0 мм, що на 1,0 мм перевищувало контроль. Найдовші міжвузля зафіксовано у сорту *El Toro* – 10,0 мм що узгоджується з його збільшеною довжиною пагона. Показник розгалуження залишався на рівні контролю. Більшість сортів формували 1,9–2,7 шт бічних пагонів. Найвищі значення відзначено у сортів

El Toro та *Tamango*, тоді як *Cinderella* та *Jana* характеризувалися низьким рівнем розгалуження. Найбільш виражену відповідь на зелений спектр продемонстрували сорти *El Toro*, *Tamango* та *Alegria*.

Для оцінки статистичної значущості впливу білого та зеленого спектрального освітлення проведено порівняльний аналіз морфометричних показників експлантів. В результаті було з'ясовано що за зеленого освітлення довжина пагонів у сортів *Alegria*, *Tamango* та *Trumpeter* дещо збільшувалась 1,0–6,3 мм порівняно з контролем, що виходить за межі стандартного відхилення і вказує на вірогідність приросту. Аналогічно відбувалося у зміні довжини міжвузля, що підтверджує тенденцію подовження пагонів. Водночас кількість листків у більшості сортів за зеленого освітлення дещо зменшилася у сорту *Alegria* $5,8 \pm 0,9$ проти $6,0 \pm 1,0$ у контролі, а різниця не перевищує межі похибки, що свідчить про відсутність достовірних змін. Кількість бічних пагонів залишалась на рівні контролю або з незначними відхиленнями, що не має статистичної значущості. Таким чином, статистично вірогідними є лише збільшення довжини пагонів та міжвузлів під дією зеленого спектра, тоді як інші морфометричні параметри залишаються без достовірних змін.

Отримані результати свідчать, що спектральний склад освітлення істотно модифікує фотоморфогенез експлантів троянд. Червоне світло індукує подовження пагонів і міжвузлів при одночасному зниженні кількості листків і бічних пагонів. Синій спектр формує компактний тип росту, підвищує листкоутворення та розгалуження. Зелене освітлення забезпечує помірне подовження пагонів, але обмежує формування листової маси. Найбільш чутливими до спектральних змін виявилися сорти *El Toro*, *Tamango* та *Alegria*.

3.3. Вплив комбінації світлових спектрів на морфологію, ріст та розвиток рослин

Для оцінювання впливу комбінації на морфогенетичні показники експлантів 6 сортів троянд групи *Patio* (*Alegria*, *Cinderella*, *El Toro*, *Jana*,

Tamango, Trumpeter) рослини пасажували в умовах *in vitro* при однакових умовах що і контрольний варіант. Отримані дані на попередніх етапах було використано для порівняння результатів між контрольними експлантами, вирощених за стандартними умовами освітлення та експлантами при різних комбінаціях освітлення, з метою виявлення ступеня впливу спектрального складу світла на морфогенетичні показники. Результати для комбінації R:B=1:1 наведені у таблиці 10.

Таблиця 10

**Морфометричні показники експлантів при комбінованому освітленні
R:B=1:1**

№	Сорт	Довжина пагона, мм	Кількість листків, шт	Довжина міжвузля, мм	Кількість бічних пагонів, шт
1	<i>Alegria</i>	32,5 ± 4,0	6,3 ± 1,0	8,0 ± 1,5	2,7 ± 0,6
2	<i>Cinderella</i>	30,0 ± 3,5	5,8 ± 0,9	7,0 ± 1,5	2,2 ± 0,5
3	<i>El Toro</i>	35,5 ± 5,0	7,2 ± 1,2	8,5 ± 1,5	3,1 ± 0,6
4	<i>Jana</i>	28,5 ± 3,0	6,0 ± 0,9	7,0 ± 1,5	2,3 ± 0,5
5	<i>Tamango</i>	33,5 ± 3,5	6,3 ± 1,0	8,0 ± 1,5	2,8 ± 0,6
6	<i>Trumpeter</i>	27,5 ± 2,5	5,1 ± 0,8	7,0 ± 1,0	1,9 ± 0,5

За умов комбінованого освітлення R:B=1:1 морфогенетичні характеристики експлантів різних сортів троянд групи *Patio* виявили чіткі сортові відмінності. Найбільшу довжину пагона сформували сорти *El Toro* та *Tamango*, у яких значення становили 35,5 мм та 33,5 мм відповідно, що на 3,0-8,0 мм більше порівняно з трояндами *Trumpeter* та *Jana*. Сорти *Alegria* та *Cinderella* демонстрували середні показники довжини пагона – 30,0-32,5 мм, це підтверджує їх помірну реакцію на комбіноване освітлення.

Найбільше утворення листя виявилось у сортів *El Toro* – 7,2 шт та *Alegria* і *Tamango* – 6,3 шт, тоді як сорт *Trumpeter* характеризувався найменшою кількістю листків лише 5,1 шт, це менше на 1,2-2,1 шт ніж у вище описаних сортах. Сорти *Cinderella* та *Jana* займали проміжне положення.

Аналіз довжини міжвузлів показав, що у сортів *El Toro*, *Alegria* та *Tamango* формувалися найбільш витягнуті міжвузля – 8,0-8,5 мм, тоді як *Cinderella*, *Jana* і *Trumpeter* мали коротші міжвузля – 7,0 мм, що вказує на їх більш компактний тип росту. Різниця між групами становила 1,0-1,5 мм. Найвищу здатність до формування бічних пагонів також продемонстрував сорт *El Toro*, у якого зафіксовано 3,1 шт бічних пагонів, що на 0,4-1,2 шт більше порівняно з сортами *Alegria* (2,7 шт) та *Tamango* (2,8 шт). Сорти *Cinderella* та *Jana* утворювали помірну кількість бічних пагонів – 2,2-2,3 шт, тоді як *Trumpeter* мав найнижчу інтенсивність розгалуження лише 1,9 шт, що на 0,8-1,2 шт менше, ніж у сортів з найбільш активним розгалуженням.

Для вивчення впливу переваги червоного спектра (80%) у поєднанні з незначною часткою синього світла (20%) на морфогенетичні реакції експланти пасажували за тих умов що і попередню комбінацію (табл. 11). Дана комбінація дозволяла оцінити вплив червоного спектру на стимулювання видовження пагонів, а синього – на корекцію листкоутворення та зменшення прояву етіолоїції.

Таблиця 11

**Морфометричні показники експлантів при комбінованому освітленні
R:B=4:1**

№	Сорт	Довжина пагона, мм	Кількість листків, шт	Довжина міжвузля, мм	Кількість бічних пагонів, шт
1	<i>Alegria</i>	37,0 ± 4,6	5,5 ± 0,9	9,2 ± 1,6	2,1 ± 0,5
2	<i>Cinderella</i>	34,2 ± 4,2	5,2 ± 0,8	8,2 ± 1,6	1,8 ± 0,5
3	<i>El Toro</i>	40,6 ± 5,6	6,5 ± 1,1	10,0 ± 1,6	2,5 ± 0,6
4	<i>Jana</i>	32,4 ± 3,8	5,4 ± 0,8	8,2 ± 1,4	1,9 ± 0,5
5	<i>Tamango</i>	38,0 ± 4,6	5,7 ± 0,9	9,2 ± 1,6	2,3 ± 0,5
6	<i>Trumpeter</i>	31,4 ± 3,6	4,6 ± 0,7	8,2 ± 1,1	1,5 ± 0,4

Як свідчать отримані результати при комбінації освітлення R:B=4:1, найдовші пагони сформували сорти *El Toro* та *Tamango*, у яких довжина

становила 40,6 мм та 38,0 мм (10). Нижчі значення спостерігали у сорту *Alegria* – 37,0 мм. У той час найкоротші пагони утворилися у сорту *Trumpeter* – 31,4 мм, що менше на 9,2 мм, ніж у сорту *El Toro*, який показав максимальний приріст.

Кількість листків за умов комбінованого освітлення 4:1 була помірною та коливалася в межах 4,6-6,5 шт. Найбільшу кількість листків утворилася у сорту *El Toro* – 6,5 шт, що на 1,3-2,0 шт більше, ніж у сортів *Cinderella*, *Jana* та *Trumpeter*, вони проявили найнижчі показники листкоутворення. Довжина міжвузлів при червоному спектрі освітлення також зростала. Найбільші значення спостерігали у сортів *El Toro* (10,0 мм) та *Alegria* і *Tamango* (9,2 мм), тоді як найкоротші міжвузля були у *Cinderella*, *Jana* та *Trumpeter* – по 8,2 мм. В результаті досліджень було встановлено що варіанти з більш вираженим видом червоного спектра сприяли подовженню міжвузлів майже у всіх сортів. Щодо формування бічних пагонів, найбільш активно розгалужувалися сорти *El Toro* та *Tamango* відповідно 2,5 та 2,3 шт. Трохи менше розгалуження пагонів спостерігалось у сортів *Alegria* та *Jana* – 2,1 та 1,9 шт відповідно. Найнижча здатність до розгалуження відмічена у сорту *Trumpeter* – 1,5 шт.

Дослідження впливу рівного поєднання синього та зеленого спектрів на морфогенетичні показники експлантів 6 сортів троянд групи *Patio* відбувалися за вище наведеної технології. Ця комбінація дозволяла оцінити, як впливає синій спектр на листкоутворення та розгалуження, а зелений – як підтримує фотосинтез і стабільний ріст пагонів. Комбіноване освітлення В:Г=1:1 забезпечило помірний та збалансований ріст усіх досліджуваних сортів троянд групи *Patio*, але при цьому між ними спостерігалися помітні відмінності за інтенсивністю ростових процесів (табл. 12). Довжина пагонів за умовами даної комбінації світла варіювала в межах 26,0-32,0 мм, це в свою чергу свідчить про стриманий характер росту. Найбільші значення були у сорту *El Toro* – 32,0 мм, який перевищив мінімальний показник сорту *Jana* на 6 мм, сорти *Alegria* (29,5 мм) та *Tamango* (30,0 мм) формували пагони середньої довжини. Сорти

Cinderella та *Trumpeter* демонстрували нижчі показники на 4,5-5мм, що свідчить про їхню більш помірну реакцію на даний спектральний режим.

Таблиця 12

**Морфометричні показники експлантів при комбінованому освітленні
В:G = 1:1**

№	Сорт	Довжина пагона, мм	Кількість листків, шт	Довжина міжвузля, мм	Кількість бічних пагонів, шт
1	<i>Alegria</i>	29,5 ± 3,5	6,6 ± 1,1	7,0 ± 0,6	2,9 ± 0,6
2	<i>Cinderella</i>	27,0 ± 3,0	6,0 ± 0,9	6,0 ± 0,7	2,4 ± 0,5
3	<i>El Toro</i>	32,0 ± 4,5	7,5 ± 1,2	7,5 ± 0,6	3,4 ± 0,6
4	<i>Jana</i>	26,0 ± 2,5	6,3 ± 0,9	6,0 ± 0,7	2,5 ± 0,5
5	<i>Tamango</i>	30,0 ± 3,5	6,7 ± 1,0	7,0 ± 0,6	3,1 ± 0,6
6	<i>Trumpeter</i>	27,5 ± 3,0	5,9 ± 0,7	6,5 ± 0,6	2,4 ± 0,5

За кількістю листоутворення усі сорти зберігали достатньо високий показний в межах 5,9-7,5 шт. Найвищі значення властиві сортам *El Toro* –7,5 шт та *Tamango* – 6,7 штук, що на 1,2-1,6 шт більше порівняно зі сортом *Trumpeter*, який мав найнижчий показник. Сорти *Alegria*, *Cinderella* і *Jana* займали середнє положення 6,0-6,6 шт. Довжина міжвузлів залишалася стабільною в межах 6,0-7,5 мм. Найдовші міжвузля знову було відмічено у сорту *El Toro* що на 1,5 мм більше порівняно з мінімальними показниками *Cinderella* та *Jana*. Сорти *Alegria* та *Tamango* демонстрували однакові значення –7,0 мм, а *Trumpeter* утворював міжвузля близько 6,5 мм. Найбільш характерним було формування бічних пагонів, кількість яких варіювалася у межах 2,4-3,4 шт. Найвищі значення зафіксовано в *El Toro* та *Tamango* , що перевищувало найнижчий показник сорту *Trumpeter* на 0,7-1,0 шт.

За результатами досліджень встановлено, що комбінації світлових спектрів по-різному впливають на морфогенетичні показники експлантів сортів троянд групи *Patio*. Комбіноване освітлення R:B=1:1 стимулює помірне видовження пагонів та листкоутворення, при цьому найбільшою реакцією

вирізняються сорти *El Toro* та *Tamango*. Збільшення частки червоного світла $R:B=4:1$ призводить до значного подовження пагонів і міжвузлів, проте зменшує інтенсивність листкоутворення. Поєднання синього та зеленого світла $B:G=1:1$ забезпечує збалансований, але стриманий ріст пагонів із високою листовою активністю.

Після аналізу даних, що відображають морфометричні показники експлантів за різних спектральних режимів освітлення наступним кроком стало порівняння між собою спектральних режимів в поєднанні контрольними рослинами. Початковим кроком аналізу стало порівняння довжини пагона, він дозволяє з'ясувати відмінності між діями різних спектральних режимів (рис. 11).

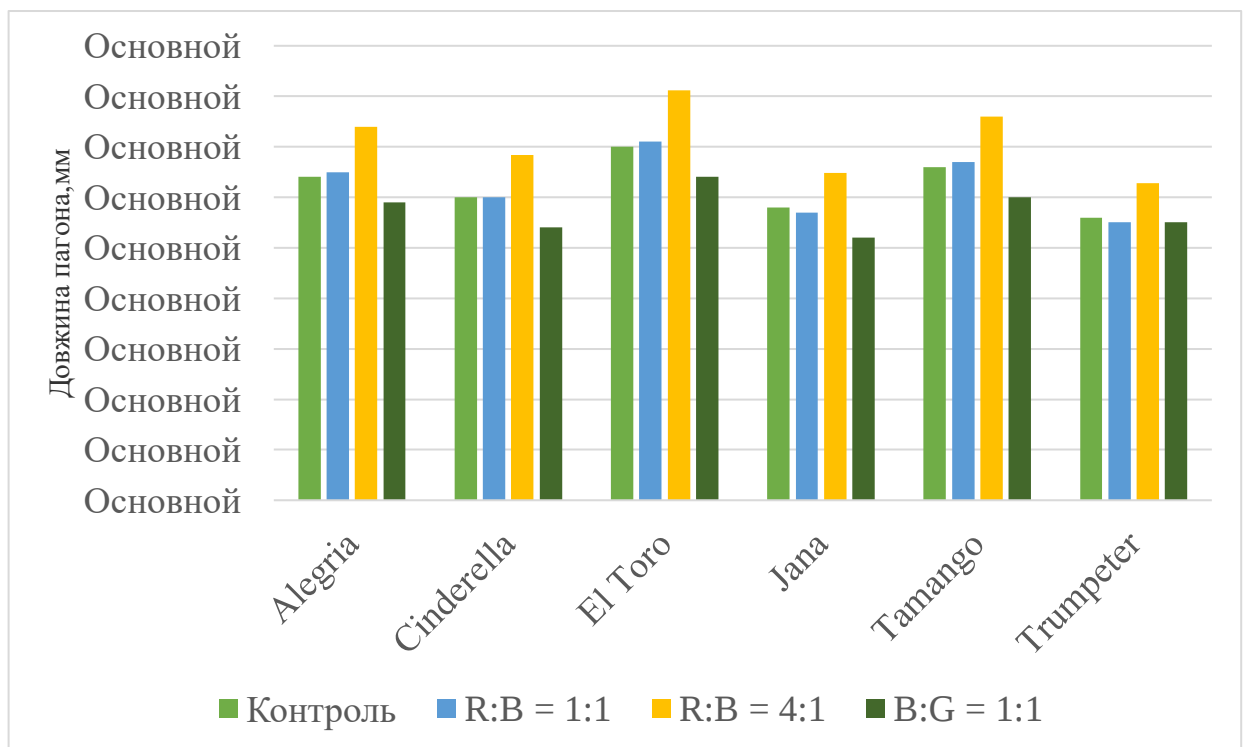


Рис. 11. Зміна довжини пагонів експлантів залежно від спектрального складу комбінованого освітлення

Порівняння довжини пагонів у сортів за контрольних умов та при трьох варіантах комбінованого освітлення показало суттєві відмінності між ними. У контролі пагони досягали 28-35 мм, де сорт *El Toro* сформував найбільшу довжину – 35 мм, тоді як *Trumpeter* мав мінімальні значення – 28 мм. При

освітленні R:B=1:1 довжина пагонів трохи збільшувалася або залишалася близькою до контролю: сорт *El Toro* також демонстрував високий результат – 35,5 мм, а *Tamango* – 33,5 мм, тоді як *Trumpeter* та *Jana* залишалися у межах 27,5-28,5 мм. При комбінації R:B = 4:1 видовження пагонів було сильніше через перевагу червоного спектра. Найбільша довжина пагонів спостерігалися у сорті *El Toro* – 40,6 мм, *Tamango* – 38 мм та *Alegria* – 37 мм, тоді як *Trumpeter* формував найкоротші – 31,4 мм. Це свідчить про те що червоне світло чітко стимулювало видовження пагонів в усіх сортах. На відміну від цього, освітлення B:G = 1:1 забезпечувало найбільш стримане видовження: довжина пагонів становила 26-32 мм. Таким чином було встановлено що максимальне видовження спостерігалось при комбінації R:B = 4:1, середнє при R:B = 1:1 та в контролі, а мінімальне при B:G = 1:1.

Аналіз формування листків експлантів за впливу різного освітлення дає змогу оцінити адаптаційні реакції рослин у культурі *in vitro* та оптимізувати умови для покращення морфогенезу (рис. 12).

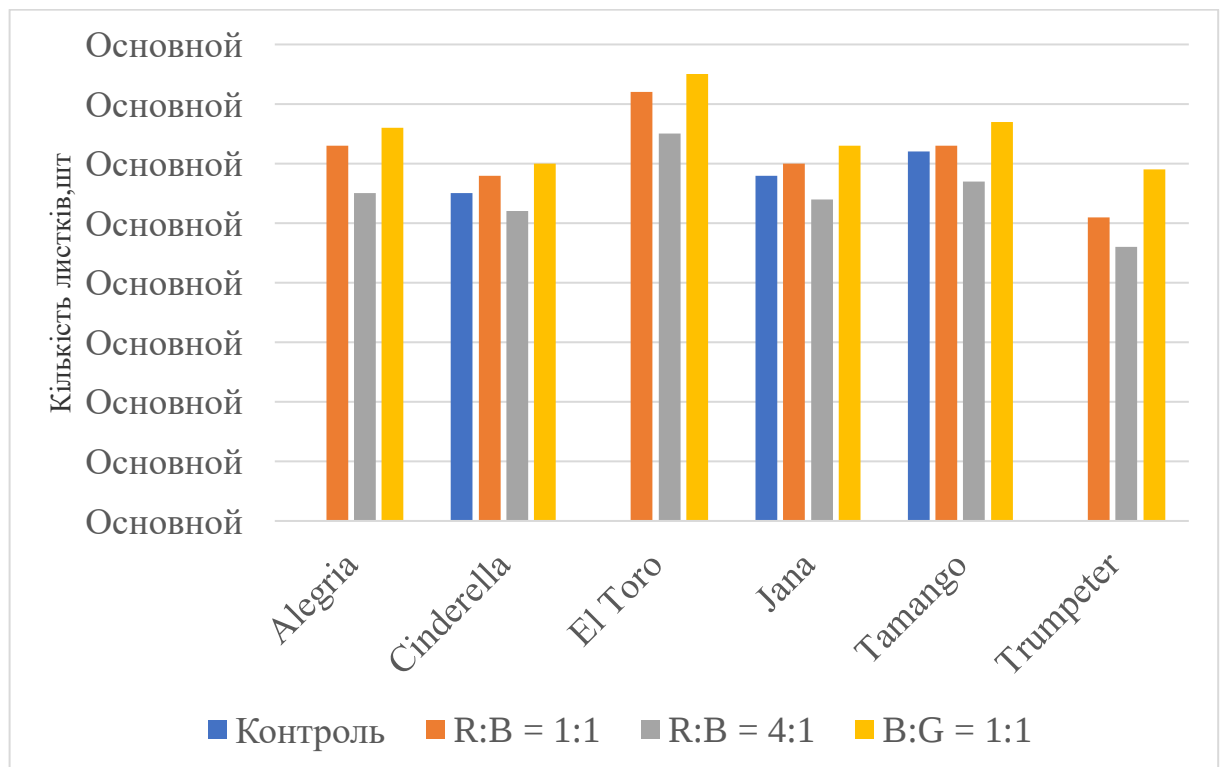


Рис. 12. Вплив спектрального складу освітлення на формування листків експлантів сортів троянд *Patio*

Кількість листків у контрольних рослин коливалась у межах 5,0-7,0 шт. За комбінації R:B=1:1 листкоутворення було схожим або вищим за контрольні показники. Сорт *El Toro* утворював 7,2 шт, в той час коли сорти *Alegria* і *Tamango* – по 6,3 шт, тоді як сорт *Trumpeter* мав найнижчий показник – 5,1 шт. При освітленні R:B=4:1 кількість листків зменшилася у всіх сортів на 1,0–1,5 шт, що менше ніж при контрольному освітленні жовтого кольору. Це свідчить про надлишкову дію червоного спектра, який сприяв видовженню пагонів, але в той же час знижував листкоутворення. Комбінація B:G=1:1 стимулювала формування більшої кількості листків ніж інші варіанти. Найвищі значення спостерігались у *El Toro* – 7,5 шт, а *Tamango* та *Alegria* також мали підвищені показники 6,7 і 6,6 шт відповідно. Навіть сорт *Trumpeter*, який стабільно мав найнижчі показники у всіх режимах, формувал 5,9 шт, це більше, ніж при R:B=4:1. В результаті порівняння було встановлено що найбільш інтенсивне листкоутворення забезпечувала комбінація B:G=1:1, тоді як R:B=4:1 призводила до його зниження.

Довжина міжвузля є важливим морфометричним показником, його аналіз дозволяє оцінити інтенсивність видовження пагонів і загальну архітектуру рослини (рис. 13). Довжина міжвузлів у контрольній групі становила 7-9 мм, серед яких сорт *El Toro* мав найбільший показник – 9 мм, а сорти *Cinderella* та *Trumpeter* мали найменші міжвузля близько 7 мм. За умов освітлення R:B=1:1 міжвузля зберігали подібну до контрольних рослин довжину (7-8,5 мм). Найбільші значення були відмічені у сорту *El Toro* – 8,5 мм та *Alegria* і *Tamango* по 8 мм. При режимі освітленні R:B=4:1 довжина міжвузля збільшилася у всіх сортів, досягаючи максимальних значень серед усіх варіантів. Ці дані свідчать про стимулюючий вплив червоного світла на витягування міжвузлів. Освітлення B:G=1:1 сприяло формуванню найкоротших міжвузлів близько 6-7,5 мм. Сорти *Cinderella* та *Jana* мали найнижчі значення по 6 мм, а у троянд сорту *Trumpeter* вони сягнули 6,5 мм. Найдовші міжвузля у цій комбінації спостерігались у рослин, які належать до сорту *El Toro* – 7,5 мм.

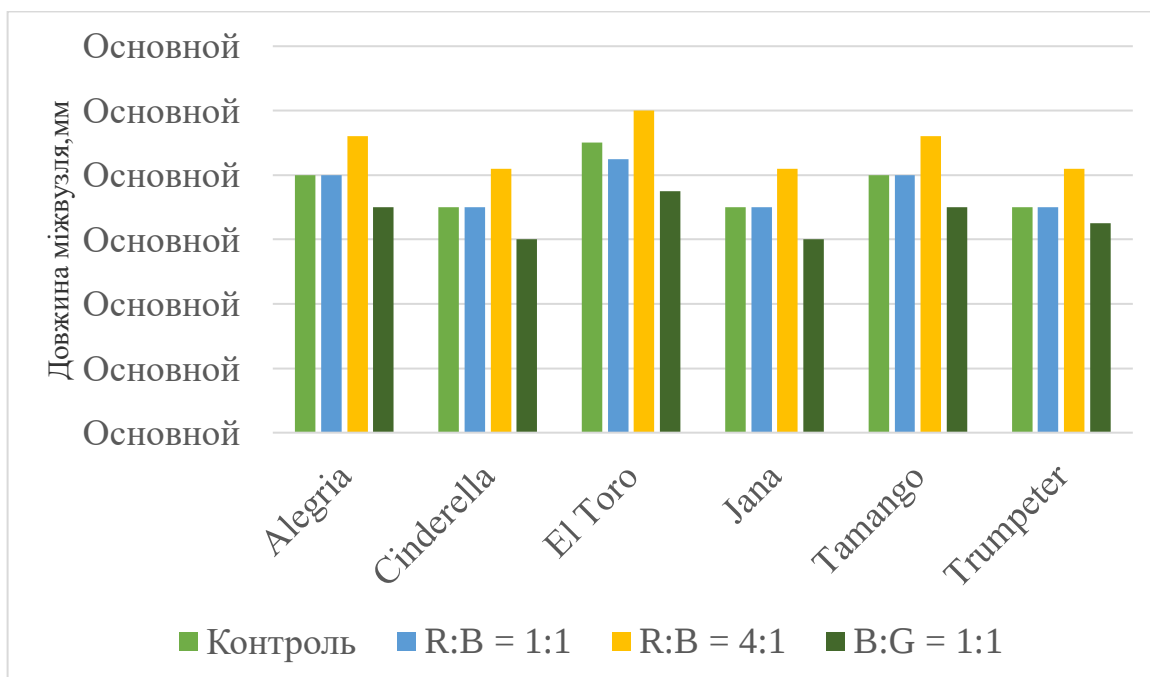


Рис. 13. Вплив спектрального складу освітлення на формування міжвузля експлантів сортів троянд *Patio*

Було встановлено що комбінація R:B=4:1 забезпечує максимальне видовження міжвузлів, тоді як B:G=1:1 сприяє їх укороченню, контрольний варіант та комбінація R:B=1:1 займають проміжне положення.

Встановлено вплив спектрального складу освітлення на інтенсивність розгалуження експлантів троянд групи *Patio*. Так, у контрольних експлантів кількість бічних пагонів становила від 1,8 до 3,0 шт відповідно, серед яких сорт *El Toro* формував найбільшу кількість, а *Trumpeter* найменшу (рис. 14).

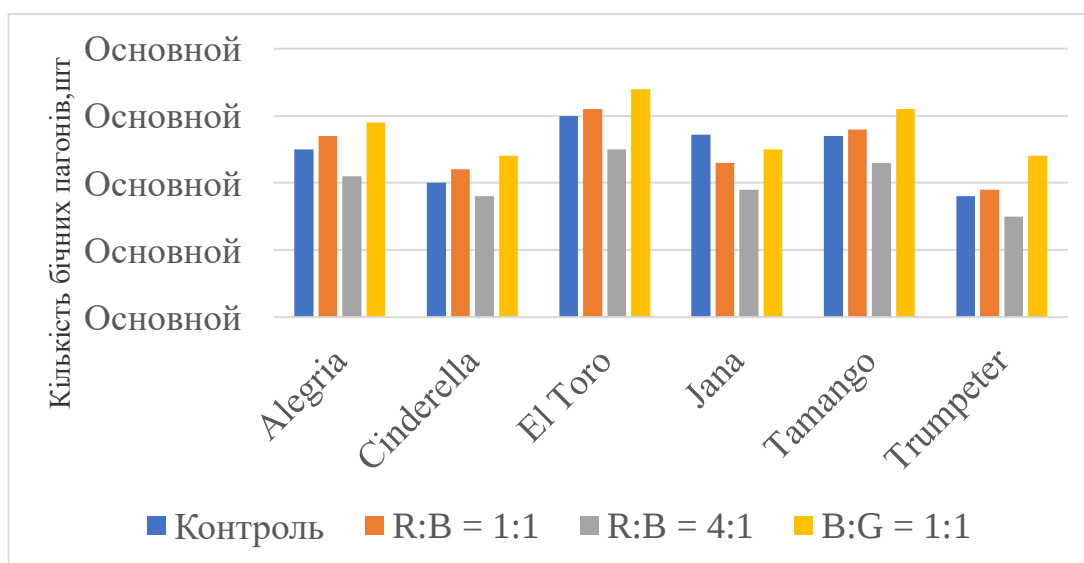


Рис. 14. Інтенсивність розгалуження експлантів троянд *Patio* залежно від спектрального складу освітлення

За умов R:B=1:1 показники були подібними або дещо вищими від контролю. Сорт *El Toro* утворював 3,1 шт бічних пагонів, *Tamango* – 2,8 шт, *Alegria* – 2,7 шт, тоді як сорт *Trumpeter* мав мінімальні показники близько 1,9 шт. При комбінації освітленні R:B=4:1 кількість бічних пагонів знижувалась, це доводить, що надлишкове червоне світло, стимулюючи видовження пагонів, одночасно пригнічує розгалуження. На відміну від нього, комбінація B:G=1:1 забезпечила найвищу інтенсивність розгалуження серед усіх варіантів. Порівняльний аналіз свідчить, що комбінація B:G=1:1 оптимально сприяє бічному розгалуженню, тоді як R:B = 4:1 має найнижчу стимулюючу дію.

В процесі дослідження було встановлено вплив трьох комбінацій на ознаки вітрифікації та стресу у рослинах експлантів (табл. 13).

Таблиця 13

**Порівняння проявів вітрифікації та ознак стресу у експлантів
троянд групи *Patio* при різних комбінаціях освітлення**

Параметр	Контроль	R:B = 1:1	R:B = 4:1	B:G = 1:1
Ознаки вітрифікація	Мінімальна, поодинокі прояви; пагони мають нормальну текстуру	Невелика кількість випадків вітрифікації, злегка «блискучі» пагони у сорту <i>Trumpeter</i> .	Виражена вітрифікація у сортів <i>El Toro</i> , <i>Tamango</i> – «блискучі», ущільнені тканини пагонів	Мінімальна вітрифікація; слабкий «блиск» у деяких пагонів
Ознаки стресу	Дуже слабкі; нормальний водний баланс і розвиток	Помірний стрес, що не впливає суттєво на ріст; деякі сорти проявляють слабкі деформації листя	Яскраво виражені ознаки стресу – деформація листя, порушення водного балансу, підвищена водянистість тканин	Мінімальні ознаки стресу; були поодинокі випадки скручування листків

У контрольному варіанті ознаки вітрифікації та стресу майже не фіксувалися. При комбінованому освітленні R:B=1:1 відбувалися лише поодинокі прояви вітрифікації та помірні стресові ознаки, які не мали суттєвого впливу на ріст. Домінування червоного спектра у комбінації R:B=4:1 супроводжувалося вираженою вітрифікацією в окремих сортів, посиленням водянистості тканин, деформаціями листків та загальним пригніченням морфогенезу. Комбінація B:G=1:1 забезпечувала мінімальні стресові реакції й майже повну відсутність вітрифікації.

За результатами досліджень встановлено, що комбінації світлових спектрів по-різному впливають на морфогенетичні показники експлантів сортів троянд групи *Patio*. Комбіноване освітлення R:B=1:1 стимулює помірне видовження пагонів та листкоутворення, при цьому найбільшою реакцією вирізняються сорти *El Toro* та *Tamango*. Збільшення частки червоного світла у R:B=4:1 призводить до значного подовження пагонів і міжвузлів, особливо у сортів *El Toro* і *Tamango*, проте зменшує інтенсивність листкоутворення. Поєднання синього та зеленого світла B:G=1:1 забезпечує збалансований, але стриманий ріст пагонів із високою листковою активністю, зокрема у сортів *El Toro* та *Tamango*. Загалом, сортові особливості визначають інтенсивність реакції на спектральний склад освітлення, при цьому комбінації з більшим вмістом червоного світла активують видовження пагонів, а синьо-зелені спектри підтримують листкоутворення і розгалуження.

3.4. Вплив антистресових препаратів та фітогормонального фону при різних комбінаціях освітлення на розмноження

На наступному етапі дослідження було досліджено вплив антистресових препаратів та фітогормонального фону у складі поживного середовища при трьох комбінаціях освітлення на морфогенетичні реакції та ознаки вітрифікації і стресу у сортів троянд групи *Patio* в умовах *in vitro*.

Для оцінки впливу комбінації освітлення R:B = 1:1 на мікроклональне розмноження експлантів сортів троянд групи *Patio* були визначені морфометричні показники: довжина головного пагона та міжвузлів, кількість бічних пагонів і листків (табл. 14). Паралельно застосовувалися антистресові препарати та ІМК, що дозволило дослідити вплив на прояви структурних і фізіологічних порушень у тканинах.

Таблиця 14

Морфометричні показники експлантів троянд групи *Patio* за умов освітлення R:B=1:1 та застосування антистресових препаратів і фітогормонального фону

№	Сорт	Довжина пагона, мм	Кількість листків, шт	Довжина міжвузля, мм	Кількість бічних пагонів, шт
1	<i>Alegria</i>	31,0 ± 3,8	6,1 ± 0,9	7,4 ± 1,3	2,9 ± 0,6
2	<i>Cinderella</i>	29,2 ± 3,6	6,4 ± 0,9	7,0 ± 1,1	2,5 ± 0,5
3	<i>El Toro</i>	35,8 ± 5,0	7,8 ± 1,2	8,2 ± 1,3	3,2 ± 0,4
4	<i>Jana</i>	30,2 ± 3,5	6,3 ± 1,0	7,0 ± 1,0	2,6 ± 0,3
5	<i>Tamango</i>	33,4 ± 4,2	6,6 ± 1,0	7,6 ± 1,3	3,0 ± 0,6
6	<i>Trumpeter</i>	28,0 ± 3,0	6,1 ± 0,8	6,6 ± 1,0	2,4 ± 0,3

Аналіз отриманих даних показав, що у сортів *Alegria*, *Cinderella* та *Jana* довжина пагонів становила 29,2-31,0 мм, що на 1,5-2,0 мм більше, ніж до корекції поживного середовища. Довжина міжвузлів залишалася в межах 7,0-7,4 мм. У сортів *Tamango* та *El Toro* довжина пагонів зросла до 33,4-35,8 мм, демонструючи найбільший приріст і більш виражену реакцію на застосовані регулятори росту. Кількість листків у більшості сортів залишалася стабільною, а в деяких сортів збільшувалася. У сортів *Alegria*, *Cinderella* та *Jana* вони варіювалися від 6,1 до 6,4 шт, тоді як у сорту *El Toro* досягла 7,8 шт, це максимальне значення серед усіх сортів. Сорт *Tamango* сформував 6,6 шт листків, а *Trumpeter* зберігав компактну листову масу на рівні 6,1 шт. Довжина міжвузлів після застосування ІМК та антистресових препаратів коливалася в межах 6,6-8,2 мм і не свідчила про розвиток вітрифікації.

Найдовші міжвузля спостерігалися у сортів *El Toro* та *Tamango* 8,2 та 7,6 мм відповідно, що узгоджується з більш інтенсивним ростом цих сортів. Кількість бічних пагонів у більшості сортів збільшилася на 0,1-0,3 шт, зокрема у *El Toro* та *Tamango*, тоді як у сорту *Trumpeter* вони залишалися на рівні 2,4 шт, відображаючи типовий компактний габітус. Підсумовуючи вище згадане було підтверджено що дана комбінація антистресових препаратів для освітлення R:B=1:1 позитивно вплинула на виправлення вітрифікаційних та стресових ознак, поодинокі прояви легкого «блиску» тканин у сорту *Trumpeter* вдалося зменшити.

У таблиці 15 представлені морфометричні показники експлантів сортів троянд групи *Patio*, вирощених під комбінованим освітленням R:B=4:1 із застосуванням зміненої концентрації антистресових компонентів у складі поживного середовища та фітогормонального фону.

Таблиця 15

Особливості морфогенезу експлантів троянд групи *Patio* під дією R:B=4:1 та антистресових компонентів поживного середовища та фітогормонального фону

№	Сорт	Довжина пагона, мм	Кількість листків, шт	Довжина міжвузля, мм	Кількість бічних пагонів, шт
1	<i>Alegria</i>	35,8 ± 4,4	5,9 ± 1,0	8,6 ± 1,4	2,4 ± 0,4
2	<i>Cinderella</i>	33,0 ± 4,0	5,6 ± 0,9	7,8 ± 1,5	2,0 ± 0,3
3	<i>El Toro</i>	39,0 ± 5,4	7,0 ± 1,2	9,4 ± 1,7	2,8 ± 0,6
4	<i>Jana</i>	31,0 ± 3,6	5,8 ± 0,9	7,8 ± 1,3	2,1 ± 0,5
5	<i>Tamango</i>	36,6 ± 4,4	6,1 ± 1,0	8,6 ± 1,5	2,6 ± 0,4
6	<i>Trumpeter</i>	30,5 ± 3,5	4,9 ± 0,8	7,8 ± 1,0	1,7 ± 0,3

За результатами досліджень у сортів *Alegria* та *Cinderella* довжина пагонів становила 33,0-35,8 мм, що трохи менше, ніж при стандартному поживному середовищі. Довжина міжвузля залишалася в межах 7,8-8,6 мм і свідчила про зменшення ущільнення тканин. Кількість листків коливалася від 5,6 до 5,9 шт, що нижче значень при комбінації без зміненої концентрації

антистресових препаратів. Бічні пагони формувалися у середньому по 2,0-2,4 шт. У сортів *El Toro* та *Tamango* довжина пагонів була максимальною – 36,6-39,0 мм, довжина міжвузля складала 8,6-9,4 мм., що є типовим для чутливості даних сортів до червоного спектра. Внесення антистресових препаратів і ІМК пом'якшило прояви вітрифікації, але повної морфогенетичної стабільності досягнуто не було і окремі пагони залишалися з характерною «блискучістю». У сорут *Trumpeter* був найменший інтенсивний ріст. Ознаки вітрифікації були майже відсутні, були слабкі деформації листя які не впливали на загальний розвиток рослини. Зміна концентрацій антистресових компонентів у поживному середовищі при комбінації R:B=4:1 частково зменшила прояви стресу та вітрифікації, сприяючи стабілізації росту і більш рівномірному формуванню листків та бічних пагонів. Проте повного усунення стресу досягти не вдалося.

Зміна концентрацій антистресових препаратів у поживному середовищі за комбінованого освітлення B:G = 1:1 проводилася для стабілізації росту та розвитку експлантів, зменшення проявів стресу й вітрифікації та забезпечення рівномірної морфогенетичної стабільності всіх сортів (табл. 16).

Таблиця 16

**Вплив комбінованого освітлення B:G=1:1 і змін концентрацій
антистресових препаратів на ріст і розвиток експлантів троянд**

№	Сорт	Довжина пагона, мм	Кількість листків, шт	Довжина міжвузля, мм	Кількість бічних пагонів, шт
1	<i>Alegria</i>	29,7 ± 3,5	6,7 ± 1,1	7,0 ± 0,6	3,0 ± 0,6
2	<i>Cinderella</i>	27,2 ± 3,0	6,1 ± 0,9	6,0 ± 0,7	2,5 ± 0,5
3	<i>El Toro</i>	32,2 ± 4,5	7,6 ± 1,2	7,6 ± 0,6	3,5 ± 0,6
4	<i>Jana</i>	26,2 ± 2,5	6,4 ± 0,9	6,0 ± 0,7	2,6 ± 0,5
5	<i>Tamango</i>	30,2 ± 3,5	6,8 ± 1,0	7,1 ± 0,6	3,2 ± 0,6
6	<i>Trumpeter</i>	27,6 ± 3,0	6,0 ± 0,7	6,5 ± 0,6	2,5 ± 0,5

Після внесення змін у концентрації антистресових препаратів експланти всіх шести сортів троянд групи *Patio* продемонстрували помірне, але стабільне збільшення довжини пагонів, кількості листків та бічних пагонів. У сорту *Alegria* довжина пагонів становила 29,7 мм із трьома бічними пагонами та 6-7 шт листками, а сорт *Cinderella* показав аналогічне підвищення по всім морфометричним показникам. Найбільш інтенсивний ріст спостерігався у сорту *El Toro*, де довжина пагонів досягала 32,2 мм з 7-8 шт листків та 3-5 шт бічними пагонами. Сорти *Jana* і *Tamango* характеризувалися середнім рівнем росту, з довжиною пагонів близько 26-30 мм, стабільною кількістю листків і бічних пагонів. Найменше витягнутим залишався сорт *Trumpeter*, з пагоном до 27,6 мм, але також з рівномірним формуванням листків і бічних пагонів. Внесення антистресових компонентів дозволило усунути всі ознаки вітрифікації та стресу: пагони мали природну структуру без блиску, прояви стресу були мінімальні, розвиток залишався стабільним. Зміни забезпечили покращення ростових параметрів і морфогенетичної стабільності експлантів усіх сортів.

Застосування антистресових препаратів у поєднанні з оптимізованим фітогормональним фоном за різних режимів світлодіодного освітлення покращило ріст і морфогенез експлантів троянд групи *Patio*. Найстабільніші показники спостерігали за R:B = 1:1, що забезпечувало формування пагонів і листків та мінімізувало вітрифікацію. Переважання червоного світла у R:B=4:1 посилювало подовження пагонів, але не усувало морфогенетичних порушень. Найвищу стабільність розвитку отримано за B:G = 1:1 у поєднанні з модифікованими концентраціями антистресових компонентів, що повністю усувало вітрифікацію та забезпечувало рівномірний ріст експлантів.

3.5. Економічна частина

Мікроклональне розмноження є потужною біотехнологічною альтернативою традиційним методам розмноження рослин. Він дозволяє

прискорити вегетативне розмноження і забезпечує отримання високоякісного, оздоровленого посадкового матеріалу. Проте впровадження цієї інноваційної методики супроводжується певними викликами. Створення та підтримка функціонування лабораторії для розмноження рослин *in vitro* вимагає значних початкових інвестицій у капітал та високих поточних витрат. Виробничий процес потребує залучення кваліфікованого персоналу, який має відповідні знання та навички роботи зі стерильними умовами та мікробіологічними протоколами. Одночасно мікророзмноження замінює важку фізичну працю, характерну для польових робіт, створюючи умови наближені до високотехнологічних виробництв. Успішна реалізація клонального мікророзмноження з чітко відпрацьованими технологічними протоколами та професійною командою забезпечує значний економічний ефект і високу рентабельність.

Проведено розрахунок економічної ефективності виробництва 1000 саджанців троянд, використовуючи оптимізовані поживні середовища для розмноження культури *in vitro* (табл. 17). У таблиці представлено порівняльний аналіз коефіцієнтів розмноження шести сортів троянд групи *Patio*, що є основою для розрахунку економічної ефективності виробництва посадкового матеріалу. Дані порівнюють стандартну технологію з варіантами оптимізованими комплексним впливом світлодіодного освітлення та антистресових препаратів. Середній коефіцієнт розмноження за стандартним методом становив 2,3 одиниці.

Дослідження підтвердило що найвищий рівень продуктивності забезпечує режим освітлення R:B = 1:1. У цьому варіанті середній коефіцієнт розмноження зріс до 3,1 шт, ефективність підвищення становила 33,0% у порівнянні зі стандартом. Сорт *El Toro* досяг тут пікового значення 5,0 шт (+66,7%). Режим B:G = 1:1 також показав позитивний результат (2,8; +22,5%). Натомість режим R:B = 4:1 виявився неефективним: середній коефіцієнт знизився до 2,1 (-7,0%).

Таблиця 17

**Вихідні дані для обрахунку економічної ефективності
мікроклонального розмноження сортів троянд групи *Patio***

Сорт	Коефіцієнт розмноження за стандартним методом, шт	Умови культивування	Коефіцієнт розмноження, шт	Зміна ефективності порівняно з стандартним методом, %
<i>Alegria</i>	2,3	R:B = 1:1	3,0	+30,4%
		R:B = 4:1	2,2	-4,3%
		B:G = 1:1	3,0	+30,4%
<i>Cinderella</i>	2,0	R:B = 1:1	3,0	+50,0%
		R:B = 4:1	2,0	±0,0%
		B:G = 1:1	2,7	+35,0%
<i>El Toro</i>	3,0	R:B = 1:1	5,0	+66,7%
		R:B = 4:1	2,4	-20,0%
		B:G = 1:1	3,4	+13,3%
<i>Jana</i>	2,1	R:B = 1:1	2,5	+19,0%
		R:B = 4:1	2,1	±0,0%
		B:G = 1:1	2,6	+23,8%
<i>Tamango</i>	2,8	R:B = 1:1	2,8	±0,0%
		R:B = 4:1	2,3	-17,9%
		B:G = 1:1	3,2	+14,3%
<i>Trumpeter</i>	1,8	R:B = 1:1	2,3	+27,8%
		R:B = 4:1	2,0	+11,1%
		B:G = 1:1	2,4	+33,3%
Середній коефіцієнт розмноження	2,3	R:B = 1:1	3,1	+33,0%
		R:B = 4:1	2,1	-7,0%
		B:G = 1:1	2,8	+22,5%

Таким чином результати підтверджують економічну доцільність технологічного рішення з освітленням R:B=1:1 та антистресовими факторами, оскільки воно максимізує вихід посадкового матеріалу.

Таблиця 18 підсумовує економічну ефективність вирощування 1000 саджанців троянд *in vitro* при різних режимах культивування та освітлення (традиційний метод, R:B = 1:1, R:B = 4:1 та B:G = 1:1). Аналіз ключових економічних показників чітко засвідчує перевагу впровадження технології з

освітленням R:B=1:1. Цей режим забезпечує найнижчу собівартість одного саджанця близько 4,84 грн порівняно з традиційним методом 6,44 грн.

Таблиця 18

Економічна ефективність вирощування троянд групи *Patio* в умовах *in vitro*

Показник	Витрати, грн.			
	традиційний метод	R:B = 1:1	R:B = 4:1	B:G = 1:1
Виробничі затрати	6437,80	4838,80	6912,30	5208,20
Собівартість 1 саджанця	6,44	4,84	6,91	5,21
Реалізаційна вартість одного саджанця	10,00	10,00	10,00	10,00
Умовний прибуток на 1 тис. саджанців	3562,20	5161,20	3087,70	4791,80
Витрати праці на 1 тис. саджанців, люд.-год./грн	2146,00	1613,00	2304,00	1736,00
Прибуток на 1 тис. саджанців	3562,20	5161,20	3087,70	4791,80
Рівень рентабельності, %	55,3%	106,7%	44,7%	92,0%

Завдяки зниженню витрат та високому коефіцієнту розмноження режим R:B=1:1 максимізує умовний прибуток на 1 тис. саджанців досягаючи 5161,20 грн. Як наслідок головний економічний показник (рівень рентабельності) є максимальним саме у цьому варіанті, сягаючи 106,7%, це майже удвічі перевищує показник традиційного методу де він становить 55,3%. Режим B:G = 1:1 також є високоефективним 92,0% тоді як режим R:B=4:1 виявився найменш рентабельним 44,7%, маючи найвищу собівартість 6,91 грн та найбільші виробничі затрати. Технологічне рішення з освітленням R:B=1:1 є найбільш економічно обґрунтованим оскільки забезпечує мінімальні виробничі затрати та максимальну рентабельність виробництва.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Для створення біотехнологічної лабораторії необхідні окремі простори приміщення, у яких можна забезпечити стабільні асептичні умови, а також сучасне обладнання та якісні реактиви. Структура такої лабораторії зазвичай складається з приміщення для миття та зберігання посуду, приміщення для приготування поживних середовищ, зону для стерилізації матеріалів (автоклавування), ламінарний бокс та культуральну кімнату [3].

У біотехнологічних лабораторіях необхідно суворо дотримуватися вимог чинних нормативно-правових актів з охорони праці, включаючи спеціальні санітарні правила та гігієнічні норми, розроблені для мікробіологічних, вірусологічних, хімічних і аналітичних лабораторій. Також повинні виконуватися вимоги пожежної та електробезпеки, а також інструкції щодо експлуатації лабораторного та допоміжного обладнання. У лабораторії повинні бути підготовлені та офіційно затверджені детальні інструкції з охорони праці для персоналу із урахуванням особливостей окремих робочих ділянок. Ці інструкції мають бути розміщені на видимих місцях у кожній зоні роботи. Усі робочі місця лабораторії підлягають спеціальній оцінці умов праці згідно з вимогами відповідних наказів Міністерства України. Працівники лабораторії повинні бути забезпечені робочим одягом і засобами індивідуального захисту відповідно до чинних нормативно-правових вимог [15].

Під час роботи в лабораторії необхідно дотримуватися таких правил:

- закривати посудини з кислотами та лугами тільки після повного охолодження розчинів;
- під час нагрівання спрямовувати отвір лабораторного посуду від себе та інших працівників;
- використовувати лійку при переливанні реагентів;

- переносити гарячі рідини лише за допомогою рушника, тримаючи посудину обома руками за дно та горловину;
- піднімати великі склянки з рідинами двома руками так, щоб відігнуті краї спиралися на вказівні пальці;
- передавати в мийну використаний посуд і прилади, що містили небезпечні речовини, лише після очищення та нейтралізації залишків;
- застосовувати засоби індивідуального захисту (окуляри, маску, гумові рукавички) під час миття посуду хромовою сумішшю, щоб запобігти потраплянню її на шкіру та слизові оболонки [8, 15].

Роботи що передбачають застосування хімічно небезпечних речовин мають виконуватися у витяжній шафі. Кислоти й луги необхідно зберігати у герметично закритому скляному посуді на нижніх полицях шаф, окремо від інших реагентів. Під час розведення концентрованих кислот слід запобігати розбризкуванню, додаючи кислоту у воду. Для переливання речовин з великих ємностей (10-20 л) у менші контейнери використовують засоби малої механізації, такі як сифони чи перекидачі. Леткі хімічні речовини необхідно зберігати на безпечній відстані від нагрівальних пристроїв та джерел відкритого вогню. Отруйні сполуки повинні зберігатися у спеціально обладнаних приміщеннях, металевих шафах або сейфах [8].

Усі операції що включають розлив живильних середовищ, пересадження (пасажування) калюсних культур та розподіл експлантів, виконують у спеціально обладнаних приміщеннях або ламінарних боксах, де підтримуються асептичні умови роботи. Для проведення стерильних пересадок у роботі з культурами тканин застосовують ламінарні бокси, оснащені УФ-лампами. Робочу поверхню перед початком роботи обробляють 70% етанолом. Чистий лабораторний посуд і інструменти стерилізують у сушильній шафі при 160 °C протягом 1,5–2 годин. Стерильні інструменти використовуються лише для одноразових маніпуляцій. Поживні середовища для культивування рослинних тканин стерилізують автоклавуванням під тиском 0,5–1 атм [14, 15].

До роботи в боксах біологічної безпеки допускається лише персонал, який пройшов відповідну фахову підготовку. Працівники зобов'язані використовувати рукавички та спеціальний одяг, рівень захисту якого має відповідати класу біобезпеки об'єкта дослідження. Під час роботи особливу увагу приділяють підтриманню стабільності повітряних потоків у камері. Рухи оператора повинні бути максимально точними та уповільненими. Усе необхідне обладнання, інструменти, реагенти та зразки розміщують біля задньої стінки до увімкнення вентиляційної системи. Виконання операцій у робочій зоні розпочинають через одну хвилину після введення рук у камеру, що забезпечує відновлення безперервності повітряної завіси. Усередині боксу допускається встановлення ультрафіолетової лампи. Під час роботи необхідно контролювати щоб решітка повітрозабору залишалася відкритою і не була заблокована предметами [2, 9].

Автоклавування дозволяється виконувати лише тим працівникам лабораторії, які отримали спеціальний допуск до роботи з автоклавним обладнанням. Лабораторне приміщення повинно бути оснащено припливно-витяжною вентиляційною системою з верхніми та нижніми відсмоктувачами, що забезпечують рівномірне надходження чистого повітря та ефективне видалення забруднених потоків [8, 14].

До самостійного виконання робіт у біотехнологічних лабораторіях допускаються лише ті фахівці, які володіють належною кваліфікацією та професійними навичками і які пройшли відповідні процедури підготовки згідно з установленими вимогами. Працівник має пройти вступний, первинний та повторний інструктажі з охорони праці, перевірку знань вимог безпеки, а за потреби – стажування на робочому місці, позаплановий або цільовий інструктаж. Крім того, обов'язковими є медичні огляди: попередній при прийнятті на роботу та періодичні протягом трудової діяльності, які підтверджують відсутність медичних протипоказань [9].

Працівники, які вперше приймаються на роботу в лабораторію можуть бути допущені до виконання обов'язків лише після проходження відповідного

інструктажу з охорони праці та пожежної безпеки згідно з характером їхньої діяльності, а також після перевірки знань цих вимог. Проведення інструктажів, подальше навчання та оцінювання знань з питань охорони праці та пожежної безпеки здійснюються відповідно до чинних нормативно-правових актів у сфері охорони праці. Забезпечення пожежної та вибухової безпеки проводиться згідно з діючими нормативно-правовими актами у сфері пожежної безпеки, а електробезпека – відповідно до чинних нормативно-правових документів у цій галузі [9].

Роботи з біоматеріалом виконуються виключно в гумових рукавичках. Біоматеріал переноситься в пробірках із кришками, а відкривати ємності слід обережно, щоб уникнути розбризкування вмісту. Під час посіву необхідно фіксувати дати та номери аналізів на всьому посуді, що використовується. Обов'язковим є суворе дотримання правил асептики та антисептики: будь-який контакт із патогенними об'єктами починається та закінчується обробкою рук бактерицидними засобами. Відповідальність за дотримання вимог охорони праці в біотехнологічній лабораторії покладається на її завідувача (керівника), а на окремих ділянках – на керівників відповідних підрозділів [15].

РОЗДІЛ 5

БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Шкідливі фактори та небезпеки присутні на кожного виробництві. Дотримання нормативних вимог щодо обладнання приміщень, суворе виконання правил техніки безпеки та регулярне проведення інструктажів персоналу сприяють зменшенню ризику їх виникнення [1].

Персонал лабораторії піддається впливу різних небезпечних і шкідливих факторів. Серед них виділяють: хімічні – підвищений рівень шкідливих речовин у повітрі робочої зони; біологічні – патогенні та умовно-патогенні мікроорганізми, спори та білкові препарати; фізичні – аерозолі, неіонізуюче випромінювання, електричні та магнітні поля, шум, вібрація, ультразвук, мікроклімат, недостатня освітленість, ризик ураження електрострумом або травмування осколками посуду; психофізіологічні – підвищене навантаження на зір; а також пожежо- та вибухонебезпечні фактори та інші специфічні небезпеки, пов'язані з роботою обладнанням, інструментами та матеріалами [1, 7].

Для забезпечення безпеки роботи в лабораторії слід оцінити рівень ризику та розробити заходи для їх усунення або значного зниження небезпеки на кожному етапі виробничого процесу. Для стандартних операцій необхідно створювати детальні інструкції, що враховують потенційні ризики та способи їх безпечного виконання. Відповідальний за охорону праці в лабораторії повинен переглядати та оновлювати ці інструкції щонайменше раз на рік [1].

Не дозволяється працювати з електроприладами які були пошкоджені або залишати їх без нагляду. Забороняється користуватися пошкодженим хімічним посудом. Реагенти необхідно зберігати у спеціально відведених місцях у посудинах з відповідними етикетками. Обслуговування автоклава дозволяється лише працівникам, які пройшли спеціальне навчання та інструктаж. Усі інструменти перед використанням та під час роботи стерилізують: спочатку занурюють у 96% спирт, а потім обпалюють у полум'ї

спиртівки до повного вигорання спирту. Якщо полум'я не видно процедуру повторюють при вимкненому світлі. Після випалювання інструменти слід дати охолонути 10-15 секунд перед повторним зануренням у спирт. У разі загоряння посудину зі спиртом слід накрити щільним матеріалом, щоб обмежити доступ повітря. Колби та інші судини з фольговими кришками перед використанням та після кожного розливу стерилізують, обпалюючи шийку в полум'ї спиртівки, щоб знищити залишки крапель. У разі виявлення несправностей або недоліків у роботі обладнання працівники повинні негайно повідомити завідувача лабораторії [2].

Усунення несправностей обладнання здійснюється кваліфікованим персоналом. При розливі небезпечної рідини камеру очищають із включеними витяжками. Після роботи всі предмети та внутрішні стіни дезінфікують. Герметичні рукавички боксу III класу підлягають сертифікації, а обладнання перевіряють перед першим використанням та щорічно. Розлиті хімічні речовини слід нейтралізувати та прибрати тирсою або сухим піском, після чого підлогу протерти ганчіркою з відповідним розчинником і ретельно вимити водою з миючим засобом або 10% розчином соди. Роботу виконують у засобах індивідуального захисту (рукавички, фартух, протигаз або респіратор). Щоб запобігти поширенню шкідливих речовин у сусідні приміщення, припливно-витяжну вентиляцію налаштовують так, щоб приплив повітря був трохи меншим за об'єм витяжки [1, 8].

У лабораторії дотримуються заходів пожежної безпеки відповідно до наказу МНС України. Приміщення оснащене природним, штучним і комбінованим освітленням, рівень шуму не перевищує 60 дБ. Все електрообладнання заземлене. На випадок пожежі доступні вогнегасники, ящики з піском, пожежні покривала з негорючого матеріалу, а в кожному приміщенні є аптечки [11].

Робота з хімічними речовинами повинна бути пожежо- та вибухобезпечною та виконуватися відповідно до виробничих регламентів, правил експлуатації обладнання та норм охорони праці. У разі аварії з

інфекційним матеріалом (розбитий посуд, розбризкування, забруднення предметів, одягу або тіла) необхідно повідомити завідувача лабораторії, провести дезінфекцію приміщення та вжити заходів особистої профілактики. До завершення цих заходів залишати лабораторію заборонено [1].

У разі аварії слід забезпечити евакуацію та ліквідацію ситуації. Забруднений біоматеріалами спецодяг і рукавички дезінфікують, при контакті зі шкірою обробляють спиртом і миють з милом. При розбризкуванні матеріалу лабораторію дезінфікують. Постраждалим при отруєннях, пораненнях, травмах або опіках надають першу допомогу та при потребі госпіталізують. Усі інциденти реєструють, аналізують і вживають заходів для запобігання їх повторенню [1, 8, 9].

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Захист навколишнього середовища в лабораторній діяльності передбачає комплекс заходів, спрямованих на мінімізацію впливу виробничих і дослідницьких процесів на повітря, воду, ґрунт та живі організми [11].

Навколишнє природне середовище вважається безпечним, якщо його стан відповідає законодавчо встановленим нормам, стандартам і лімітам, що визначають чистоту, невичерпність ресурсів, екологічну стабільність, санітарні вимоги, видове різноманіття та здатність забезпечувати потреби людей і нормальну життєдіяльність. Ключовою умовою переходу суспільства до моделі сталого розвитку є підвищення еколого-економічної результативності господарської діяльності. Екологічний контроль у сфері сільського господарства виступає основним правовим інструментом, забезпечує раціональне використання природних ресурсів і захист довкілля від шкідливих впливів. Враховуючи його значення в системі охорони навколишнього середовища, цей контроль можна розглядати як провідну правову міру. Саме завдяки механізмам екологічного контролю здебільшого забезпечується обов'язкове дотримання суб'єктами екологічного права встановлених природоохоронних вимог. Екологічна функція контролю в аграрній сфері реалізується також під час здійснення інших правових механізмів спрямованих на раціональне використання природних ресурсів і охорону довкілля, зокрема екологічного нормування, експертизи, ліцензування та сертифікації. У межах цих видів діяльності екологічний контроль, тобто забезпечення дотримання еколого-правових вимог фактично діє паралельно й невід'ємно доповнює кожен із названих процесів [11].

Виконання будь-якого з указаних заходів передбачає цілеспрямовану діяльність спеціально уповноважених державних органів, що проводиться відповідно до встановлених процедур і на основі спеціальних правових норм. Головною метою державної політики у даній сфері у сільському господарстві

є систематичне зменшення ризику впливу небезпечних факторів до прийняттого мінімуму аби забезпечити захист населення, виробничої та соціальної інфраструктури, а також екологічних систем. Екологічна безпека в сільському господарстві у вузькому значенні означає стан захищеності людей, сільськогосподарських тварин і рослин, а також природного середовища від природних і техногенних загроз. У ширшому розумінні екологічну безпеку в аграрній сфері слід трактувати як комплекс правових, соціально-економічних та технологічних заходів, спрямованих на збереження довкілля й підвищення рівня безпеки у сфері сільського господарства [10, 11].

Підприємство вже впровадило низку рішень для підвищення екологічності виробництва. У культуральній кімнаті застосовують енергоощадні LED-лампи, а освітлення контролюється таймером, що запобігає зайвому споживанню електроенергії. Лабораторія не здійснює шкідливих викидів в атмосферу, а використаний скляний посуд, металеві частини, папір і картон передаються на переробку. Вона не спричиняє забруднення довкілля шкідливими речовинами чи патогенними мікроорганізмами. Використане поживне середовище обов'язково проходить стерилізацію в автоклавах, що запобігає можливому поширенню інфекцій [13].

У лабораторії клонального мікророзмноження можливе впровадження додаткових екологічних рішень, зокрема систем очищення та повторного використання стічної води, установок для економного миття посуду, а також застосування альтернативних джерел енергії та участі в екологічних проєктах. Загалом виробництво вже є достатньо екологічним: воно не забруднює довкілля шкідливими речовинами чи патогенами, переробляє відходи та раціонально використовує енергоресурси. Підприємство впроваджує ресурсозберігаючі заходи що зменшують витрати, підвищують прибутковість і продовжують строк служби виробничих ресурсів. Останніми десятиліттями в більшості країн посилилися екологічні вимоги законодавства яке визначає пріоритет екологічної безпеки в усіх сферах діяльності [10, 11].

Нормативні акти містять правові положення які регламентують забезпечення екологічної безпеки. Аналіз цих норм свідчить про те що в Україні вже сформовано певну систему правових регуляцій у цій сфері, однак вона потребує вдосконалення. Екологічна безпека нині розвивається як окремий напрямок діяльності держави та суспільства поряд із природокористуванням і охороною навколишнього середовища. Важливо прискорити ухвалення закону України про екологічну (природно-техногенну) безпеку та забезпечити ефективний правовий механізм його реалізації [12].

ВИСНОВКИ

1. На етапі введення в культуру *in vitro* експланти троянд групи *Patio* продемонстрували високу виживаність 93,3%–100,0% та низький рівень контамінації до 6,7%, що підтверджує ефективність асептичних умов. Сорти *El Toro* та *Tamango* досягли 100,0% виживаності. За морфометричними показниками сорт *El Toro* виявився найбільш ростовим: довжина пагонів досягала 35,0 мм формуючи найбільшу кількість бічних пагонів 3,0 шт. Найслабший ріст зафіксовано у сорту *Trumpeter* – 28,0 мм. Усі експланти сформували здорові рослини які слугували контрольним варіантом для подальших експериментів для порівняння.

2. Дослідження впливу монохроматичного освітлення на фотоморфогенез троянд при стандартному фітогормональному фоні показало як спектральний склад світла суттєво модифікує ріст. Червоне світло індукує статистично достовірне подовження пагонів, але пригнічує кущіння та листкоутворення. Синє світло інгібує видовження стебла (зменшення довжини на 20–30%) та формує компактний тип росту при цьому достовірно збільшуючи меристематичну активність та кількість бічних пагонів. Зелене світло забезпечує помірне подовження пагонів, але обмежує формування листової маси. Найбільш чутливими до спектральних змін виявилися сорти *El Toro*, *Tamango* та *Alegria*.

3. Дослідження впливу комбінованих спектрів підтвердило, що комбінація R:B=1:1 забезпечує найбільш збалансований ріст з помірним видовженням пагонів та добрим розгалуженням. Комбінація R:B=4:1 викликала небажане максимальне видовження пагонів (*El Toro* – 40,6 мм) і міжвузлів, також виражену вітрифікацію та пригнічення розгалуження. Натомість B:G=1:1 забезпечив стриманий ріст пагонів сформував найбільш компакту морфологію, але стимулював найвищу меристематичну активність та максимальне бічне розгалуження мінімізуючи стресові реакції. Таким

чином для масового розмноження найбільш перспективними є режими $B:G=1:1$ та $R:B=1:1$ оскільки вони забезпечують якісне кушіння.

4. Застосування антистресових препаратів у поєднанні з оптимізованим фітогормональним фоном при різних режимах LED-освітлення значно покращило ріст, морфогенез та стабілізувало стан експлантів. Найкращий ефект щодо усунення вітрифікації та забезпечення морфогенетичної стабільності досягнуто в режимі $B:G=1:1$ де пагони всіх сортів набули природної, здорової структури без блиску. Цей режим також забезпечив найвищі якісні показники у сорту *El Toro* довжина пагонів досягла 32,2 мм з 3,5 шт бічних пагонів. Комбінація $R:B=1:1$ також показав стабільні результати з мінімальними ознаками стресу. Натомість у $R:B=4:1$ повного усунення структурних порушень та вітрифікації досягти не вдалося, і він залишився субоптимальним хоча і забезпечив максимальне подовження пагонів – *El Toro* – 39,0 мм. Найефективнішим для масового отримання високоякісного та фізіологічно здорового посадкового матеріалу визначено режим культивування при $B:G=1:1$ у поєднанні з антистресовими компонентами.

5. Проведений розрахунок економічної ефективності підтвердив високу доцільність технології мікроклонального розмноження троянд. Серед досліджених спектральних режимів найбільш економічно є комбінація $R:B=1:1$, вона забезпечила найвищий середній коефіцієнт розмноження – 3,1 (+33,0% порівняно зі стандартом) та мінімізувала виробничі витрати. Ключові економічні показники для $R:B=1:1$ є максимальними. Собівартість одного саджанця становить лише 4,84 грн, а рівень рентабельності досягає 106,7%, що значно перевищує показники традиційного методу – 55,3%. Режим $B:G=1$ також є високоефективним (рентабельність 92,0%). Комбінація $R:B=4:1$ виявився найменш рентабельним – 44,7% через зниження коефіцієнта розмноження та найвищу собівартість.

ПРОПОЗИЦІЇ

1. Для масового отримання високоякісного та фізіологічно здорового посадкового матеріалу рекомендовано застосовувати режим освітлення при культивування $B:G = 1:1$ у поєднанні з антистресовими компонентами. Цей протокол забезпечив повне усунення вітрифікації та структурних порушень, а також дозволив експлантам усіх сортів набути природної здорової структури.

2. Для забезпечення найвищої економічної ефективності мікроклонального розмноження рекомендується використовувати спектральний режим $R:B = 1:1$.

3. З метою отримання максимальних якісних показників пагонів, доцільно надавати пріоритет сорту *El Toro* при культивуванні в режимі $B:G=1:1$, оскільки в цих умовах він продемонстрував найкращі параметри.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. "Безпека праці. Хімічна безпека. Розроблення і впровадження процедур робочих інструкцій"
2. Атаманчук П. С., Мендерецький В. В. Безпека життєдіяльності (теоретичні основи), Навчальний посібник, Каменець-Подільський: Центр навчальної літератури, 2017. 273 с.
3. Вишняков Д. С. Запобігання професійним захворюванням і виробничому травматизму – запорука підвищення конкурентоспроможності підприємства. Участь молоді у розбудові агропромислового бб комплексу України: 32-ї студентської науково-теоретичної конференції, 18-20 березня 2020 р., Миколаїв. Миколаїв : МНАУ, 2020, С. 71-74.
4. Денисенко І. Л. Біологія цвітіння троянд патіо в умовах Правобережного Лісостепу України. Plant Introduction.2013.С. 37–43.
5. Дениско І. Л. Витоки та походження троянд групи Ратіо. Інтродукція рослин. 2013. № 4. С. 78–85.
6. Дениско І. Л. Троянди Ратіо. Динаміка пагоноутворення. Інтродукція рослин. 2010. № 3. С. 102–106.
7. ДСП 9.9.5.-080-02 «Правила влаштування і безпеки роботи в лабораторіях (відділах, відділеннях) мікробіологічного профілю»: Державні санітарні правила та норми,гігієнічні нормативи. Київ : Міністерство охорони здоров'я. 2002. 9 с.
8. ДСТУ 4131:2002 "Підготовка та організація робіт у місцях, де проводяться роботи з шкідливими хімічними речовинами".
9. ДСТУ ISO 45001:2018 "Системи управління охороною праці та професійного здоров'я і безпеки. Вимоги та рекомендації щодо застосування".
10. Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX Про управління відходами
11. Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII Про охорону навколишнього природного середовища.

12. Інструкція про заходи пожежної безпеки у лабораторії. *Довідник спеціаліста з охорони праці*. URL: <https://pro-op.com.ua/article/957-nstruktsya-pro-zahodi-pojejno-bezpeki-u-laborator>.
13. Наказ від 31.10.2024 № 1827 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Порядок управління медичними відходами, у тому числі вимоги щодо безпечності для здоров'я людини під час утворення, збирання, зберігання, перевезення, оброблення таких відходів
14. НПА ОП 0.00-1.41-90 "Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском".
15. Основи охорони праці: змістовий модуль № 4. «Основи пожежної безпеки». Тема № 10. «Основи пожежної профілактики на виробничих об'єктах»: конспект лекції / уклад. В. М. Курепін. Миколаїв : МНАУ, 2021. 45 с.
16. Подгаєцький А. А., Мацкевич В. В. М., Подгаєцький А. А. Особливості мікроклонального розмноження рослин : монографія. Біла Церква : БНАУ, 2018. 209 с.
17. Саджанці бордюрних троянд Таманго (привитий) купити *Садовий-Розмай*. URL: <https://sadovyy-rozmay.com.ua/ua/sadzstantsi-bordirnykh-troiand-tamanho-ua>.
18. Троянда "Jana" (Яна) бордюрна. *Садова ягода*. URL: https://traskovskiy.ua/products/troyanda-jana-yana-bordyurna?variant=5112&srsid=AfmBOorABKWv--lwL63t_PZqd4hBaJjVpos-OG3dzNuuF6QyVZRhEHXA.
19. Троянда Cinderella. *Мій Сад*. URL: <https://moisad.ua/ua/kataloh/roza-cinderella>.
20. Троянда Trumpeter. *UA*. URL: https://florium.ua/ua/toy-trojanda-trumpeter/?srsid=AfmBOorUeS2tBWydLYvpP_799npYBoGYp9RwehwloquQfXW_P8jF5Ol.
21. Троянда патіо Alegria Sady *CHERCASY*. *Sady CHERCASY*. URL: https://sadychercasy.com/troianda_patio_alegria/.

32. Propagation of phytosanitary clones by in vitro culture | BIO Web of Conferences. BIO Web of Conferences. URL: https://www.bioconferences.org/articles/bioconf/abs/2021/06/bioconf_biphv2021_03003/bioconf_biphv2021_03003.html
33. Smith H. L., McAusland L., Murchie E. H. Don't ignore the green light: exploring diverse roles in plant processes. *Journal of Experimental Botany*. 2017. Vol. 68, no. 9. P. 2099–2110. URL: <https://doi.org/10.1093/jxb/erx098>
34. The action mechanisms of plant cryptochromes / H. Liu et al. *Trends in Plant Science*. 2011. Vol. 16, no. 12. P. 684–691. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.09.002> .
35. The role of light in regulating plant growth, development and sugar metabolism: a review / W. Wu et al. *Frontiers in Plant Science*. 2025. Vol. 15. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1507628> .
36. What is the Effect of Red Light on Plants?. *Vanten LED*. URL: <https://vantenled.com/what-is-the-effect-of-red-light-on-plants/>.

ДОДАТОК А

1er Mars, 2024;
Paris, République française
SECTION 11.
BIOLOGIE ET BIOTECHNOLOGIE



DOI 10.36074/logos-01.03.2024.032

THE INFLUENCE OF CYTOKININS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF PATIO GROUP ROSES IN «IN VITRO» CONDITIONS

Lilla Popova¹
Supervisor: Olena Karateleva²

¹ A student of the 4th year of the Bachelor's degree at the Faculty of VETSPISB, Mykolaiv National Agrarian University, UKRAINE

² Ph.D., docent, docent of the Department of Biotechnology and Bioengineering, Mykolaiv National Agrarian University, UKRAINE

Microclonal reproduction is an effective method of vegetative reproduction of plants, which allows you to quickly reproduce the original mother form without changing the genetic structure and obtain the necessary amount of planting material. This approach is possible only if biotechnological methods of cultivating plants in vitro are used [2, 3].

The use of biotechnological methods of *in vitro* microcloning can contribute to the rapid breeding of new varieties, the distribution of original and elite breeding material, the preservation and propagation of rare or endangered species, plants and valuable ancient varieties, as well as the rapid propagation of planting material free from viral diseases [1, 4].

Therefore, the purpose of this work is to establish the effect of phytohormones, namely cytokinins of the nutrient medium, on the growth and development of roses of the Patio group in vitro.

The research was conducted on the basis of the laboratory of microclonal reproduction, which is located on the territory of the Solivka National Dendrological Park of the National Academy of Sciences of Ukraine in the city of Uman, Cherkassy Region. The material of the study was roses of the Patio group: *Alegria*, *Cinderella*, *El Toro*, *Jana*, *Tamango*, *Trumpeter*. As explants for introduction into *in vitro* culture, buds (sockets) 0.5-0.8 cm in size were used, taken from donor plants (grown in closed soil) with a typical phenotype without damage by pests and viruses. Buds were selected during the vegetation period, in the phase of active vegetation and in a state of rest [3, 6].

135

www.logos-science.com

All rights reserved | CC BY-SA 4.0

Therefore, the medium with a BAP concentration of 3.0 mg/l (MS4) turned out to be the worst for all varieties of roses, since the viability of shoots with this concentration was the lowest and amounted to 20-22.6%. The medium with a concentration of 2.5 mg/l (MS3) showed good results for all varieties, their effective viability was at the level of 20-26.2%, except for the *El Toro* variety, for which the degree of adaptation was only 14%. The best results of development and adaptation were shown by the *Jana* variety at the same concentration of cytokinins - 2.5 mg/l, i.e. the modification of the MS3 medium, which had the highest development rate - 26.2%, among all varieties, and the number of their microshoots was the highest - 4.47 pieces (Figure 1, Table 3).

As our research showed, the standard medium MS1 was mediocre for the development of shoots of the *Alegria*, *Cinderella* and *Jana* varieties, in which 120-123 shoots were formed, and their viability was at the level of 34.2-34.7% (Table 3).

Table 3

Viability of axillary buds at different concentrations of BAP, %					
№	Varieties	Modifying nutrient media (MS)			
		MS1	MS2	MS3	MS4
1	<i>Alegria</i>	34.3	42.4	20.0	21.9
2	<i>Cinderella</i>	34.2	43.9	22.2	21.7
3	<i>El Toro</i>	38.7	43.2	14.0	21.4
4	<i>Jana</i>	34.7	67.9	26.2	22.6
5	<i>Tamango</i>	39.4	67.2	25.0	22.6
6	<i>Trumpeter</i>	37.8	63.8	23.8	20.0

Source: formed on the basis of own research

While the standard medium used in the laboratory, MS1, is a good enough nutrient medium for varieties *El Toro*, *Tamango*, *Trumpeter*, as it germinated 233-235 microshoots, and their viability level was within 37.8-39.4%.

One of the main conditions for rhizogenesis is a well-formed regenerating plant with well-developed, long micro-shoots, so we set a goal to investigate the effect of cytokinin concentration on the length of shoots of *Patio* roses in vitro. Shoot length was measured when transferred to the rooting medium and is listed in Table 4.

Table 4

The influence of BAP concentration on the length of newly formed shoots, mm

№	Varieties	Modifying nutrient media (MS)			
		MS1	MS2	MS3	MS4
1	<i>Alegria</i>	9.79±0.33	10.00±0.58	8.70±0.40	8.28±0.45
2	<i>Cinderella</i>	5.90±0.55	9.35±0.45	7.37±0.45	5.55±0.50
3	<i>El Toro</i>	6.50±0.44	11.40±0.75	10.70±0.75	6.25±0.35

Cultivation was carried out on the modified nutrient media of Murashige and Skoog (MS), it was modified 8 times, four for cytokinins and four for auxins, while the amount of micro- and macrosalts, agar agar and sucrose remained unchanged, the pH was 5.6-5.8. Also, ascorbic acid (concentration 25 mg/l) was added to the nutrient medium to reduce the negative impact of phenols that were formed in the oxidation process. It should be noted that 6-benzylaminopurine (BAP) was introduced as cytokinins. Modified MS environments are listed in Table 1.

Table 1
Modifications of the nutrient medium of Murashige and Skoog (MS) for propagation of roses of the Patio group in vitro

№	Modification MS	BAP concentration, mg/l
1	MS1	0.5
2	MS2	1.0
3	MS3	2.5
4	MS4	3.0

To study the influence of cytokinin concentrations on the formation of shoots in vitro, explants of 6 varieties of roses from the *Patio* group (*Alegria*, *Cinderella*, *El Toro*, *Jana*, *Tamango*, *Trumpeter*) were planted on modified nutrient media with BAP. At the end of pasteurization, the growth of rose microshoots was evaluated, the results of BAP administration are shown in Table 2.

Table 2
The effect of BAP cytokinin concentration on the number of newly formed shoots, pcs

№	Varieties	Modifying nutrient media (MS)			
		MS1	MS2	MS3	MS4
1	<i>Alegria</i>	120±0.32	165±0.42	123±0.34	0.47±0.47
2	<i>Cinderella</i>	120±0.31	190±0.50	167±0.47	0.35±0.46
3	<i>El Toro</i>	232±0.44	185±0.23	0.55±0.47	0.27±0.37
4	<i>Jana</i>	134±0.33	6.50±0.55	4.47±0.49	1.40±0.46
5	<i>Tamango</i>	3.45±0.50	6.23±0.65	2.35±0.41	1.40±0.46
6	<i>Trumpeter</i>	2.13±0.53	5.30±0.60	1.80±0.30	0.33±0.44

Source: formed on the basis of own research

In addition to phytohormones, the amount of formation of new microshoots is directly influenced by the genotype of the studied sample and how it develops in a certain environment. Thus, the best environment for the *Alegria* and *Cinderella* genotypes was the MS2 environment, in which an average of 1.65 new shoots were

formed for the *Alegria* genotype and 1.90 pieces for the *Cinderella* genotype. While the worst environment for them turned out to be the MS4 modification - in which only 0.47 and 0.35 pieces of shoots germinated, respectively. The highest number of newly formed shoots was observed in genotypes *Jana*, *Tamango*, *Trumpeter* on MS2 medium - 6.50 pieces, 6.23 and 5.30 pieces, respectively. The most favorable environment for the growth of shoots for the genotype *Jana* was the standard medium MS1, in which 123 newly formed shoots sprouted, and for the genotypes *Tamango* and *Trumpeter*, the environment, MS4 was again not favorable, which gave growth - 1.40 and 0.33 new shoots in accordance. For the *El Toro* genotype, modifications MS3 and MS4 were the worst - 0.55 and 0.27 new growths, respectively, while the classic environment MS1 for this genotype turned out to be the best - 2.32 pieces of new shoots.

According to the obtained data, an increase in the concentration of BAP in the medium led to the formation of a large number of axillary buds, but they did not develop further due to the phenomenon of apical dominance. The shoots that did form had a conglomerate of small shoots, small leaves and a small stem. During the subsequent pasteurizations, the size of the plants decreased, and the number of microshoots increased. After two or three passages, the size of the microshoots decreased, the leaves became light green in color (Figure 1).

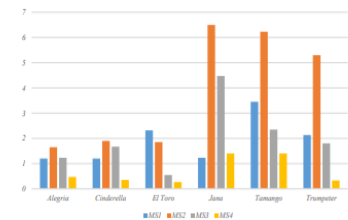


Fig. 1 Effectiveness of BAP influence on the formation of shoots



Débats scientifiques et orientations prospectives
du développement scientifique
SECTION 11.
BIOLOGIE ET BIOTECHNOLOGIE

13. Машеван В. В. Микрокλωνные размножения андал розовых in vitro та их постсептальная адаптация: диссертация. Сумы, 2020. 471 с.
14. Машеван В. В., Подгиздий А. А., Фотопов Г. М. Микрокловные размножения андал розовых (протокол технологии): научно-практический сборник. Гена Целева ЕНУВУ, 2019. С. 85.
15. Чилин Г., Киселев А. А., Мельникова М. Показатели: методы, средства, для повышения роста и развития тканей андал розовых в культуре in vitro. Материалы 10779 Парижа 2018. № 367. С. 134-138.
16. Tienhuis, D., Hsu, M. T., Kha, P. C., & Van Meit, T. (2017). Micropropagation of lavender (*Lavandula angustifolia*, seeds). 4, 731.
17. Llanos, O., Polischuk, V. Clonal Micropropagation, Rhizogenesis and Adaptive Capacity of Certain Rose (*Rosa L.*) Variety Explants. *Croatian Journal of Natural Resources* 2022, Vol. 5, no. 1, p. 47-56.

Стаття опублікована в збірнику наукових праць «LOGOS» згідно з матеріалами IV Міжнародній науково-практичній конференції «Débats scientifiques et orientations prospectives du développement scientifique»