

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ПОГОДЖЕНО

**Декан факультету захисту рослин,
біотехнологій та екології**

_____ **Юлія КОЛОМІЄЦЬ**
(підпис)
« ____ » _____ 2026 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
**Завідувач кафедри екобіотехнології
та біорізноманіття**

_____ **Олена КВАСКО**
(підпис)
« ____ » _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему «Оптимізація живильних середовищ для мікроклонального
розмноження декоративних орхідей роду *Phalaenopsis*»**

**Спеціальність 162 Біотехнології та біоінженерія
Освітньо-професійна програма “Біотехнології та біоінженерія”**

Гарант освітньої програми

Кандидат біологічних наук, доцент _____ **Олена КВАСКО**
(підпис)

Керівник бакалаврської роботи

Кандидат біологічних наук, доцент, _____ **Олена КВАСКО**
(підпис)

Виконала

_____ **Катерина ГУСАРУК**
(підпис)

КИЇВ-2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
екобіотехнології
та біорізноманіття

к.б.н., доцент _____ Олена КВАСКО

« ____ » _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Гусарук Катерині Сергіївні

Спеціальність 162 Біотехнології та біоінженерія

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: «Оптимізація живильних середовищ для мікроклонального розмноження декоративних орхідей роду *Phalaenopsis*»

затверджена наказом ректора НУБіП України від “30” жовтня 2025 р. № 2596 “С”.

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15 травня 2025 року.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: рослини декоративних орхідей роду *Phalaenopsis* у культурі *in vitro*; живильні середовища Мурасіге–Скуга (МС) та Гамборга (В5) і їх модифікації; методики культивування рослинних тканин *in vitro* та оцінки морфогенетичних показників рослин.

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Дослідити вплив складу живильних середовищ МС та В5, а також концентрації макро- і мікроелементів на ріст і розвиток орхідей роду *Phalaenopsis* в умовах *in vitro*.
2. Визначити вплив різних концентрацій регуляторів росту (6-бензиламінопурину, нафтилоцтової та індолілмасляної кислот) на інтенсивність проліферації пагонів і ризогенез рослин.
3. Оцінити ефективність використання різних джерел карбону та органічних добавок (кокосової води, бананового пюре, активованого вугілля) на морфогенетичні показники рослин.
4. Провести порівняльний аналіз отриманих результатів та встановити оптимальний склад живильного середовища для масового мікроклонального розмноження і отримання здорового посадкового матеріалу декоративних орхідей роду *Phalaenopsis*.

Дата видачі завдання 3 листопада 2025 року

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи

(підпис)

Олена КВАСКО

Завдання прийняла до виконання

(підпис)

Катерина ГУСАРУК

РЕФЕРАТ

Загальний обсяг роботи 50 сторінок, кількість таблиць - 6, додатків - 2, використаних джерел - 29.

Ключові слова: МІКРОКЛОНАЛЬНЕ РОЗМНОЖЕННЯ, *PHALAENOPSIS*, БІОТЕХНОЛОГІЯ ОРХІДЕЙ, ЖИВИЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ, УМОВИ КУЛЬТИВУВАННЯ.

Метою даної роботи було оптимізувати склад живильних середовищ для мікроклонального розмноження декоративних орхідей роду *Phalaenopsis* шляхом вивчення впливу концентрації мінеральних компонентів, регуляторів росту, джерел карбону та органічних добавок на процеси проліферації пагонів, ризогенезу, накопичення біомаси та загальний розвиток рослин у культурі *in vitro*.

Об'єктом дослідження є процес росту, розвитку та мікроклонального розмноження декоративних орхідей роду *Phalaenopsis* в умовах культури *in vitro*.

Предметом дослідження є вплив компонентного складу живильних середовищ, зокрема концентрації макро- і мікроелементів, регуляторів росту, джерел карбону та органічних добавок, на морфогенез, проліферацію пагонів, ризогенез і накопичення біомаси рослин *Phalaenopsis* у культурі *in vitro*.

В роботі застосовано такі **методи дослідження** як біотехнологічні, морфометричні та статистичні. Біотехнологічні методи включали культивування рослинних тканин *in vitro* на модифікованих живильних середовищах Мурасіге–Скуга (МС) та Гамборга (В5); морфометричні - оцінювання інтенсивності проліферації, довжини пагонів, утворення коренів і накопичення біомаси; статистичні - обробку та аналіз експериментальних даних.

Досліджено вплив складу живильного середовища на ріст, морфогенез і мікроклональне розмноження орхідей роду *Phalaenopsis* в умовах культури *in vitro*. Встановлено, що оптимальним є середовище Мурасіге–Скуга з 50 % макросолей, 30 г/л сахарози та додаванням регуляторів росту (0,5 мг/л БАП і 0,5 мг/л ІМК) і органічних компонентів (кокосова вода, бананове пюре, активоване вугілля), що забезпечує максимальну проліферацію пагонів, ризогенез і накопичення біомаси. Отримані результати підтверджують ефективність оптимізованого середовища для підвищення продуктивності мікроклонального розмноження та отримання якісного посадкового матеріалу.

Практична значущість роботи полягає в удосконаленні технологій мікроклонального розмноження орхідей роду *Phalaenopsis* *in vitro* шляхом оптимізації складу живильних середовищ, що підвищує ефективність проліферації пагонів, ризогенезу та накопичення біомаси. Отримані результати можуть бути використані для розробки промислових протоколів масового отримання оздоровленого, генетично однорідного посадкового матеріалу, що сприятиме підвищенню рентабельності виробництва та збереженню природних популяцій.

ABSTRACT

The total number of pages - 50, number of tables 6, appendices - 2, and sources cited - 29.

Keywords: MICROCLONAL PROPAGATION, *PHALAENOPSIS*, ORCHID BIOTECHNOLOGY, NUTRIENT MEDIUM, CULTIVATION CONDITIONS.

The aim of this study was to optimize the composition of culture media for the microclonal propagation of ornamental orchids of the genus *Phalaenopsis* by investigating the effect of the concentration of mineral components, growth regulators, carbon sources, and organic additives on the processes of shoot proliferation, rhizogenesis, biomass accumulation, and overall plant development in in vitro culture.

The object of the study is the process of growth, development, and microclonal propagation of ornamental orchids of the genus *Phalaenopsis* under in vitro culture conditions.

The subject of the study is the effect of the compositional makeup of culture media, specifically the concentrations of macro- and micronutrients, growth regulators, carbon sources, and organic additives, on morphogenesis, shoot proliferation, rhizogenesis, and biomass accumulation in *Phalaenopsis* plants in in vitro culture.

The study employed biotechnological, morphometric, and statistical methods. Biotechnological methods included the in vitro cultivation of plant tissues on modified Murashige–Skoog (MS) and Hamburg (B5) media; morphometric methods - assessment of proliferation intensity, shoot length, root formation, and biomass accumulation; and statistical methods - processing and analysis of experimental data.

The effect of culture medium composition on the growth, morphogenesis, and microclonal propagation of orchids of the genus *Phalaenopsis* under in vitro

conditions was investigated. It was found that the optimal medium is Murashige–Skoog medium containing 50% macro-salts, 30 g/L sucrose, and the addition of growth regulators (0.5 mg/L BAP and 0.5 mg/L IMB) and organic components (coconut water, banana puree, activated charcoal), which ensures maximum shoot proliferation, rhizogenesis, and biomass accumulation. The results confirm the effectiveness of the optimized medium for increasing the productivity of microclonal propagation and obtaining high-quality planting material.

The practical significance of this work lies in the improvement of in vitro microclonal propagation technologies for *Phalaenopsis* orchids through the optimization of culture medium composition, which enhances the efficiency of shoot proliferation, rhizogenesis, and biomass accumulation. The results obtained can be used to develop industrial protocols for the mass production of healthy, genetically uniform planting material, which will contribute to increasing production profitability and conserving natural populations.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	13
1.1. Загальна характеристика орхідей роду <i>Phalaenopsis</i> , біологічні особливості та господарське значення	13
1.2. Мікроклональне розмноження рослин у культурі <i>in vitro</i>	19
1.3. Особливості культивування орхідей та оптимізація живильних середовищ <i>in vitro</i>	21
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ	27
2.1. Вихідний матеріал для досліджень	27
2.2. Умови культивування рослин <i>in vitro</i>	27
2.3. Визначення морфометричних показників рослин	29
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ	31
3.1. Вплив концентрації мінеральних компонентів живильного середовища на ріст і розвиток орхідей <i>Phalaenopsis in vitro</i>	31
3.2. Вплив джерел карбону на морфогенетичні показники рослин	34
3.3. Вплив регуляторів росту на проліферацію пагонів та ризогенез орхідей	36
3.4. Ефективність органічних добавок у живильних середовищах для культивування орхідей <i>in vitro</i>	39
3.5. Оптимізація складу живильного середовища для мікроклонального розмноження орхідей роду <i>Phalaenopsis</i>	42
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47

ВСТУП

Орхідеї є цінними декоративними рослинами родини Orchidaceae, яка налічує приблизно 30–35 тисяч видів, а також значну кількість гібридів і сортів. Завдяки високій декоративній цінності, різноманіттю форм, забарвлення, розмірів і ароматів квіток, вони займають провідні позиції на світовому ринку декоративного квітництва. Окрім декоративного значення, представники родини Orchidaceae синтезують широкий спектр біологічно активних сполук, що робить їх потенційною сировиною для отримання таких речовин у фармакологічній промисловості та традиційній медицині, зокрема в системі Аюрведи. Отже, орхідеї мають як декоративну, так і лікувально-цінну цінність, що робить їх важливими об'єктами для комерційного використання у квітникарстві та фармацевтичній промисловості [1-3].

Разом з тим, у природних умовах спостерігається суттєве скорочення чисельності орхідей, що пов'язано з надмірним збором рослин, знищенням природних місць існування, вирубкою лісів, надмірним використанням агрохімікатів та інтенсивною деградацією екосистем. Унаслідок цього багато видів орхідей включено до Додатку II Конвенції CITES, яка регулює міжнародну торгівлю рідкісними видами, а також значна їх частина занесена до Червоної книги Міжнародного союзу охорони природи як такі, що перебувають під загрозою зникнення [5, 6]. Усе це призводить до суттєвого скорочення природних популяцій орхідей і підсилює необхідність їхнього збереження.

Традиційні методи розмноження орхідей мають низьку ефективність, оскільки вони є тривалими, трудомісткими та не забезпечують достатніх обсягів посадкового матеріалу для промислового вирощування. Насіннєве розмноження також має обмежену ефективність через дуже низьку природну схожість насіння, зумовлену відсутністю

ендосперму та необхідністю симбіозу з мікоризними грибами. Тому дедалі більшого значення набувають біотехнологічні методи мікроклонального розмноження *in vitro*, які дозволяють отримувати значні обсяги генетично однорідного та оздоровленого посадкового матеріалу у короткі терміни. Найчастіше для культивування орхідей використовують живильні середовища з додаванням різних комбінацій регуляторів росту та експлантів різного типу [7].

Орхідеї належать до однієї з найбільш численних і різноманітних груп родини Orchidaceae, представники якої можуть успішно розмножуватися та проростати з мікроскопічного насіння за умов культивування на штучних живильних середовищах. Склад живильного середовища має суттєвий вплив на ефективність проростання насіння різних видів орхідей, що зумовлює необхідність його оптимізації.

Одним із ключових факторів, що визначають ефективність мікроклонального розмноження, є концентрація макро- та мікроелементів у живильному середовищі. Саме мінеральний склад середовища значною мірою впливає на інтенсивність росту, формування протокормів та подальший розвиток рослин.

Важливу роль у підвищенні ефективності культивування відіграють також органічні добавки, серед яких широко використовують екстракт картоплі, яблучний сік або оцет, кукурудзяний екстракт, бананове пюре, пептон, кокосову воду та інші природні стимулятори росту. Такі компоненти здатні суттєво підвищувати інтенсивність проліферації клітин і сприяти формуванню повноцінних рослин.

Додавання природних органічних регуляторів росту забезпечує активне розмноження протокормоподібних структур у орхідей, зокрема у представників родів *Phalaenopsis* та *Doritaenopsis*. Це призводить до збільшення коефіцієнта розмноження та прискорення отримання посадкового матеріалу. Зокрема, ефективність мікроклонального

розмноження та проліферації протокормів у *Cymbidium pendulum* та епіфітних видів *Bulbophyllum* була доведена при використанні органічних добавок у живильних середовищах. Поєднання кокосової води, картопляного екстракту та бананового гомогенату сприяло значному покращенню регенерації пагонів і формування рослин у *Bulbophyllum* spp. та інших орхідей. Банановий гомогенат у концентраціях близько 10% позитивно впливає на розвиток листків та протокормоподібних структур, а кокосова вода у поєднанні з пептоном підвищує ефективність утворення нових рослинних форм. Крім того, застосування органічних добавок не лише стимулює проліферацію протокормів, але й сприяє покращенню морфологічних характеристик рослин, таких як довжина пагонів, коренів і листків [8].

Враховуючи вище зазначене, **метою даної роботи** було оптимізувати склад живильних середовищ для мікроклонального розмноження декоративних орхідей роду *Phalaenopsis* шляхом вивчення впливу концентрації мінеральних компонентів, регуляторів росту, джерел карбону та органічних добавок на процеси проліферації пагонів, ризогенезу, накопичення біомаси та загальний розвиток рослин у культурі *in vitro*.

Згідно поставленої мети було сформульовано наступні **завдання**:

1. Дослідити вплив складу живильних середовищ Мурасиге та Скуга (МС) та Гамборга (В5), а також концентрації макро- і мікроелементів на ріст і розвиток орхідей роду *Phalaenopsis* в умовах *in vitro*.

2. Визначити вплив різних концентрацій регуляторів росту (6-бензиламінопурина, нафтилоцтової та індолілмасляної кислот) на інтенсивність проліферації пагонів і ризогенез рослин.

3. Оцінити ефективність використання різних джерел карбону та органічних добавок (кокосової води, бананового пюре, активованого вугілля) на морфогенетичні показники рослин, зокрема довжину пагонів, утворення коренів і накопичення біомаси.

4. Провести порівняльний аналіз отриманих результатів та встановити оптимальний склад живильного середовища для масового мікроклонального розмноження і отримання здорового посадкового матеріалу декоративних орхідей роду *Phalaenopsis*.

Об'єктом дослідження є процес росту, розвитку та мікроклонального розмноження декоративних орхідей роду *Phalaenopsis* в умовах культури *in vitro*.

Предметом дослідження є вплив компонентного складу живильних середовищ на морфогенез, проліферацію пагонів, ризогенез і накопичення біомаси рослин *Phalaenopsis* у культурі *in vitro*.

В роботі застосовано такі **методи дослідження** як біотехнологічні, морфометричні та статистичні. Біотехнологічні методи включали культивування рослинних тканин *in vitro* на модифікованих живильних середовищах; морфометричні - оцінювання інтенсивності проліферації, довжини пагонів, утворення коренів і накопичення біомаси; статистичні - обробку та аналіз експериментальних даних.

Практична значущість даної роботи полягає у вдосконаленні технологій мікроклонального розмноження орхідей роду *Phalaenopsis in vitro* шляхом оптимізації складу живильних середовищ, що дозволяє підвищити ефективність проліферації пагонів, ризогенезу та загальної біомаси рослин. Отримані результати можуть бути використані для розробки промислових протоколів масового отримання оздоровленого, генетично однорідного посадкового матеріалу, вільного від патогенів. Це сприятиме зниженню втрат рослинного матеріалу, скороченню термінів вирощування та зменшенню залежності від традиційних, менш ефективних методів розмноження.

Робота виконувалась на кафедрі екобіотехнології та біорізноманіття факультету захисту рослин, біотехнологій та екології Національного університету біоресурсів і природокористування України.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Загальна характеристика орхідей роду *Phalaenopsis*, біологічні особливості та господарське значення

Рід *Phalaenopsis* належить до родини Orchidaceae та є одним із найважливіших представників декоративних орхідей у світовому квітникарстві. Представники цього роду характеризуються високою морфологічною різноманітністю, значною кількістю видів і гібридів, а також широким використанням у промисловому декоративному рослинництві. Рід включає понад 200 видів і понад 39 000 штучно створених гібридів, що підкреслює його значення у світовій селекції декоративних рослин. Отже, орхідеї роду *Phalaenopsis* є важливими представниками родини Orchidaceae, які характеризуються високою декоративною цінністю та широким поширенням у промисловому квітникарстві [9].

Господарське значення *Phalaenopsis* є надзвичайно високим, оскільки цей рід займає провідне місце у світовому ринку декоративних рослин. Завдяки тривалому цвітінню, високій естетичній привабливості та різноманіттю гібридних форм, ці орхідеї широко використовуються у комерційному квітникарстві, озелененні інтер'єрів та тепличному виробництві. Сучасна індустрія орхідей значною мірою базується на біотехнологічних методах масового розмноження, що дозволяє отримувати генетично однорідний та оздоровлений посадковий матеріал у великих масштабах [8, 12].

У природі *Phalaenopsis* поширені переважно в тропічних регіонах Південно-Східної Азії та Австралії, де вони зростають як епіфітні рослини, прикріплюючись до дерев без паразитування на них. Епіфітний спосіб життя зумовлює наявність специфічних адаптацій, зокрема добре розвиненої повітряної кореневої системи з веламеном, здатної ефективно

поглинати вологу та поживні речовини з атмосферного середовища. Для представників роду характерний моноподіальний тип росту, за якого головне стебло безперервно наростає у висоту, формуючи листки та квітконоси протягом усього життєвого циклу рослини [10].

Орхідеї роду *Phalaenopsis* мають складні адаптаційні механізми до умов навколишнього середовища. Листки орхідей *Phalaenopsis* зазвичай товсті, шкірясті та містять значні запаси води, що є адаптацією до періодичних коливань вологості в природних умовах. Продихи відкриваються переважно в нічний час, що дозволяє мінімізувати втрати води за умов обмеженого водозабезпечення. Значна частина видів і гібридів здатна до фотосинтезу за типом САМ (crassulacean acid metabolism), що забезпечує ефективне використання води в умовах епіфітного існування. Окрім САМ-метаболізму, у них є специфічні адаптації кореневої системи, включаючи здатність до поглинання води безпосередньо з атмосферної вологи та участь коренів у додаткових метаболічних процесах, таких як частковий фотосинтез [11].

Квітки орхідей роду *Phalaenopsis* відрізняються високою декоративністю, тривалим періодом цвітіння та різноманітністю форм і забарвлення, що зумовлює їхню провідну роль у світовому ринку декоративних рослин. Особливістю їх біології є надзвичайно дрібне насіння, яке не містить ендосперму, у зв'язку з чим у природних умовах його проростання можливе лише за наявності симбіозу з мікоризними грибами. Насіння орхідей є мікроскопічним, не містить ендосперму та в природних умовах має низьку схожість, оскільки для його проростання необхідна симбіотична взаємодія з мікоризними грибами. Це значно обмежує природне відновлення популяцій і зумовлює повільні темпи розмноження.

Представники роду *Phalaenopsis* походять із тропічних і субтропічних регіонів, тому вони добре пристосовані до стабільно високих

температур. Водночас рослини є надзвичайно чутливими до переохолодження та низькотемпературного стресу. Температурний режим відіграє ключову роль у процесах росту та цвітіння: доведено, що температура вище 28-29 °C може пригнічувати індукцію цвітіння та затримувати розвиток квітконосів. Для більшості сортів оптимальними є умови вирощування за температури близько 24-26 °C у денний період.

У природних умовах *Phalaenopsis* є епіфітами та ростуть на поверхні дерев, а їхня коренева система постійно контактує з вологим повітрям. Така особливість робить рослини чутливими як до дефіциту вологи, так і до надмірного зволоження субстрату. За умов посухи листки втрачають тургор і зморщуються, тоді як надлишок води може спричиняти пошкодження кореневої системи та розвиток гнилей.

Важливим фактором успішного культивування є освітлення. У природному середовищі орхідеї ростуть під пологом дерев, отримуючи розсіяне світло помірної інтенсивності. Надмірне освітлення може викликати утворення некротичних плям на листках та пригнічення росту. Для культивування *Phalaenopsis* в умовах теплиць оптимальною вважається інтенсивність освітлення близько 200-300 мкмоль·м⁻²·с⁻¹. Дослідження показують, що спектральний склад світла також впливає на розвиток рослин: червоне світло стимулює процеси цвітіння та збільшує кількість квіток, тоді як синє світло покращує адаптацію рослин після пересаджування.

Однією з важливих умов вирощування є забезпечення рослин достатнім мінеральним живленням. У процесі поливу значна частина поживних елементів вимивається із субстрату, тому необхідне регулярне внесення добрив. Особливе значення мають азот, калій, магній та кальцій. Встановлено, що *Phalaenopsis* краще засвоюють азот у нітратній формі, а достатнє забезпечення кальцієм позитивно впливає на якість листків і квіток.

Важливу роль у культивуванні орхідей відіграє вибір субстрату. Основними вимогами до нього є здатність утримувати вологу, забезпечувати аерацію коренів та накопичувати поживні речовини. Найпоширенішими субстратами для вирощування *Phalaenopsis* є мох сфагнум, кора дерев, кокосові чипси та кокосовий торф. Найкращі результати часто спостерігаються при використанні сфагнового моху, який забезпечує оптимальний водно-повітряний режим і сприяє активному росту та ранньому цвітінню рослин. Однак через обмежені природні ресурси активно досліджуються альтернативні субстрати, зокрема суміші на основі арахісового лущиння, штучних волокон та безсубстратні системи вирощування.

При культивуванні *Phalaenopsis* значну проблему становлять шкідники та хвороби, розвиток яких посилюється за умов високої вологості та температури у теплицях. Найбільш поширеними є трипси, кліщі та грибні патогени. Особливо небезпечними вважаються вірусні захворювання, зокрема *Cymbidium mosaic virus* (CymMV) та *Odontoglossum ringspot virus* (ORSV), які можуть суттєво знижувати декоративну цінність рослин і призводити до значних економічних втрат. У зв'язку з цим велика увага приділяється розробці методів діагностики, профілактики та створенню стійких генотипів орхідей.

Отже, успішне культивування орхідей роду *Phalaenopsis* потребує комплексного контролю умов вирощування, включаючи температурний режим, освітлення, водозабезпечення, мінеральне живлення та захист від патогенів. Оптимізація цих факторів є необхідною передумовою отримання високоякісного декоративного матеріалу та ефективного промислового вирощування орхідей [9].

Особливого значення набули біотехнологічні методи розмноження орхідей роду *Phalaenopsis in vitro*. Мікроклональне розмноження є основним способом масового отримання посадкового матеріалу цих

рослин у промислових масштабах. У культурі тканин широко використовують експланти квітконосів, меристем, листків і коренів, а також живильні середовища з регульованим складом макро- і мікроелементів та фітогормонів. Оптимізація умов культивування дозволяє підвищувати ефективність регенерації, індукцію протокормоподібних структур і швидкість формування повноцінних рослин [9].

Окрім широкого використання як декоративних горщикових рослин і зрізаних квітів, орхідеї роду *Phalaenopsis* мають значний потенціал для застосування у фармацевтичній, косметичній та біотехнологічній галузях. Останнім часом особливу увагу приділяють дослідженню антиоксидантних, антимікробних та лікувальних властивостей екстрактів цих рослин [12].

Найбільш вивченими є антиоксидантні властивості *Phalaenopsis*. Встановлено, що екстракти, отримані з різних органів рослин, містять значну кількість біологічно активних речовин, здатних нейтралізувати вільні радикали. Дослідження показали, що етил-ацетатні екстракти коренів гібридних форм *Phalaenopsis* характеризуються високою антиоксидантною активністю та можуть розглядатися як перспективне джерело природних антиоксидантів. Також встановлено, що антиоксидантний потенціал залежить від органа рослини та забарвлення квіток. Зокрема, екстракти листків білих форм орхідей проявляли високу активність у реакціях поглинання вільних радикалів, тоді як екстракти квіток характеризувалися значною відновлювальною здатністю.

Перспективним напрямом є використання відходів культивування *Phalaenopsis*, включаючи листки, стебла та корені, як джерела біологічно активних сполук. Встановлено, що екстракти листків і коренів мають помірну або високу антиоксидантну активність, а також здатні пригнічувати ріст патогенних мікроорганізмів, зокрема *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* та *Bacillus cereus*. Це свідчить про

перспективність використання екстрактів орхідей у створенні антимікробних препаратів та природних консервантів.

Крім того, орхідеї роду *Phalaenopsis* можуть бути використані також і в косметичній галузі. Встановлено, що екстракти орхідей можуть впливати на процеси диференціації клітин шкіри та пригнічувати утворення пігментних плям, що відкриває можливості для створення нових косметичних засобів із фотозахисними та антивіковими властивостями.

Антимікробні властивості *Phalaenopsis* також активно вивчаються. Зокрема, екстракти, отримані з протокормоподібних структур, здатні пригнічувати ріст бактеріальних патогенів рослин та зменшувати прояви бактеріальних захворювань. Крім того, у квітках орхідей роду *Phalaenopsis* виявлено значну кількість флавоноїдів, зокрема С-глікозильованих флавонів, які мають антиоксидантні та захисні властивості. Наявність таких сполук свідчить про перспективність використання квіток орхідей як джерела природних біологічно активних компонентів для фармацевтичної та косметичної промисловості.

Таким чином, орхідеї роду *Phalaenopsis* мають важливе не лише декоративне, але й біотехнологічне та господарське значення. Їхні біологічно активні сполуки є перспективними для використання у фармакології, косметології, сільському господарстві та створенні природних антиоксидантних і антимікробних препаратів [9, 19]. Біологічні особливості *Phalaenopsis* - епіфітний спосіб життя, САМ-фотосинтез, специфічна морфологія кореневої системи та складна репродуктивна біологія - безпосередньо визначають їхнє високе господарське значення та широке застосування у сучасному декоративному рослинництві і біотехнології.

1.2. Мікроклональне розмноження рослин у культурі *in vitro*

Мікроклональне розмноження рослин у культурі *in vitro* є одним із найважливіших напрямів сучасної біотехнології рослин, який дозволяє отримувати велику кількість генетично однорідного та оздоровленого посадкового матеріалу в контрольованих умовах. Основою методу є здатність рослинних клітин до тотипотентності, тобто можливості формувати повноцінний організм із окремої клітини або групи клітин за відповідних умов культивування [13]. Для орхідей застосування технологій *in vitro* має особливе значення, адже традиційне вегетативне розмноження за допомогою кореневищ або відростків є повільним і малоефективним процесом.

Одна коробочка орхідей може містити від 2 до 3 мільйонів насінин, проте їх природне проростання є надзвичайно низьким. Насіння орхідей не містить ендосперму, тому для успішного розвитку зародка необхідний симбіоз із мікоризними грибами. За природних умов проростає лише незначний відсоток насіння, що суттєво обмежує природне відновлення популяцій.

Значний розвиток технологій розмноження орхідей відбувся після впровадження методу асимбіотичного пророщування насіння, розробленого Кнудсоном у 1922 році. Надалі для культивування *in vitro* почали широко використовувати не лише насіння, але й різні типи експлантів, зокрема сегменти псевдобульб, вузлові бруньки, верхівки пагонів та коренів. Використання таких експлантів особливо важливе для збереження генетичної однорідності цінних сортів і гібридів орхідей.

Сьогодні методи мікроклонального розмноження активно застосовуються у промислових масштабах для культивування багатьох декоративних родів орхідей, серед яких *Cattleya*, *Cymbidium*, *Dendrobium*, *Epidendrum*, *Oncidium*, *Phalaenopsis*, *Paphiopedilum* та *Vanda*. Технології *in*

vitro дозволяють отримувати оздоровлений посадковий матеріал, прискорювати процес розмноження та зменшувати ризик поширення патогенів.

Особливу увагу дослідники приділяють рідкісним і зникаючим видам орхідей, зокрема представникам роду *Bulbophyllum*, які мають значний декоративний і фармакологічний потенціал. Незважаючи на це, методи їх мікроклонального розмноження досліджені недостатньо. Використання культури тканин дозволяє знизити антропогенне навантаження на природні популяції орхідей та сприяє їх збереженню.

Ефективність мікроклонального розмноження залежить від багатьох факторів, серед яких важливими є тип і ступінь зрілості експланта, методи стерилізації, склад живильного середовища, а також фізико-хімічні умови культивування *in vitro*. Оптимізація цих параметрів є необхідною умовою успішного регенераційного процесу та отримання високоякісного посадкового матеріалу [9].

Одним із ключових факторів успішного мікроклонального розмноження є склад живильного середовища, зокрема співвідношення фітогормонів. Цитокініни, такі як 6-бензиламінопурин, стимулюють утворення та проліферацію пагонів, тоді як ауксини - нафтилоцтова кислота та індолілмасляна кислота - сприяють ризогенезу та формуванню кореневої системи. Оптимальне поєднання регуляторів росту дозволяє значно підвищити коефіцієнт мультиплікації рослин і прискорити процес регенерації.

Суттєву роль у мікроклональному розмноженні відіграють органічні добавки, серед яких широко застосовують кокосову воду, бананове пюре, картопляний екстракт, пептон та активоване вугілля. Такі компоненти містять природні фітогормони, амінокислоти, вітаміни та інші біологічно активні речовини, які стимулюють морфогенез, проліферацію та розвиток рослин *in vitro*. Доведено, що використання органічних добавок позитивно

впливає на формування протокормоподібних структур, ріст пагонів і підвищення життєздатності рослин [9].

Методи мікроклонального розмноження широко використовуються у декоративному рослинництві, сільському господарстві, селекції та збереженні рідкісних і зникаючих видів рослин. Особливе значення вони мають для орхідей, зокрема роду *Phalaenopsis*, оскільки природне розмноження цих рослин є повільним і малоефективним через низьку схожість насіння та залежність від мікоризних грибів. Використання технологій *in vitro* дозволяє отримувати значні обсяги оздоровленого посадкового матеріалу, зменшувати ризик поширення патогенів та сприяти збереженню цінних генотипів.

Таким чином, мікроклональне розмноження є ефективним біотехнологічним методом масового отримання рослинного матеріалу, який забезпечує високу швидкість розмноження, генетичну однорідність рослин та можливість цілорічного виробництва посадкового матеріалу незалежно від сезонних умов.

1.3. Особливості культивування орхідей та оптимізація живильних середовищ *in vitro*

Культивування орхідей *in vitro* є одним із найбільш ефективних методів масового розмноження та збереження цінних декоративних і рідкісних видів рослин. Особливість орхідей полягає у специфічній біології їхнього розвитку, зокрема наявності дрібного насіння без ендосперму та повільному природному розмноженні, що значно ускладнює традиційне вирощування. Саме тому біотехнологічні методи культивування *in vitro* набули широкого застосування для отримання великої кількості генетично однорідного й оздоровленого посадкового матеріалу [9].

Ефективність культивування орхідей значною мірою залежить від складу живильного середовища. Для мікроклонального розмноження найчастіше використовують середовища Мурасіге-Скуга, Гамборга та їх модифікації. Середовище повинно містити оптимальне співвідношення макро- та мікроелементів, джерела карбону, вітаміни, амінокислоти та регулятори росту. Доведено, що для багатьох видів орхідей, зокрема представників роду *Phalaenopsis*, більш ефективними є середовища зі зниженою концентрацією макросолей, оскільки надлишок мінеральних компонентів може пригнічувати ріст і морфогенез рослин [9, 13].

Важливу роль у процесах регенерації та проліферації відіграють регулятори росту рослин. Цитокініни, зокрема 6-бензиламінопурин, стимулюють утворення пагонів і підвищують коефіцієнт мультиплікації, тоді як ауксини - нафтилоцтова кислота та індолілмасляна кислота - сприяють формуванню кореневої системи. Оптимальне співвідношення цитокінінів та ауксинів забезпечує ефективний морфогенез і розвиток повноцінних рослин *in vitro*.

Джерелом енергії в умовах *in vitro* культивування переважно є сахароза, концентрація якої зазвичай становить 20–30 г/л. Вуглеводи необхідні для росту та розвитку експлантів, оскільки на ранніх етапах культивування фотосинтетична активність рослин є недостатньою. В той же час надмірна концентрація сахарози може негативно впливати на осмотичний потенціал середовища та пригнічувати розвиток рослин.

Для покращення росту і розвитку орхідей широко використовують органічні добавки природного походження. Найбільш поширеними є кокосова вода, бананове пюре, картопляний екстракт, пептон та активоване вугілля. Кокосова вода містить природні фітогормони, амінокислоти та вітаміни, які стимулюють поділ клітин і проліферацію протокормоподібних структур. Бананове пюре є джерелом вуглеводів, калію та біологічно активних речовин, що позитивно впливають на формування пагонів і

коренів. Активоване вугілля адсорбує токсичні метаболіти та фенольні сполуки, покращуючи морфогенез і загальний стан рослин [20].

Окрему увагу приділяють фізичним умовам культивування. Для більшості орхідей оптимальною є температура 24-26 °C, фотоперіод 16/8 годин світла і темряви та освітлення інтенсивністю 2000–3000 Люкс. Порушення температурного режиму або світлових умов може призводити до уповільнення росту, розвитку фізіологічних аномалій та зниження ефективності регенерації [25, 26].

Отже, оптимізація складу живильних середовищ і умов культивування є ключовим фактором успішного вирощування орхідей *in vitro*. Правильний підбір мінерального складу, регуляторів росту та органічних добавок дозволяє значно підвищити ефективність регенерації, забезпечити отримання оздоровленого посадкового матеріалу та вдосконалити технології масового мікроклонального розмноження орхідей.

Сучасні біотехнологічні методи відкривають широкі можливості для вдосконалення селекції орхідей та створення нових декоративних форм із цінними господарськими ознаками. На відміну від традиційних методів селекції, таких як гібридизація або мутагенез, біотехнологічні підходи дозволяють отримувати нові культивари швидше та з більшою точністю. Особливого значення набувають методи генетичної трансформації та редагування геному, зокрема система CRISPR/Cas9, яка забезпечує цілеспрямоване внесення змін у геном рослин. Завдяки таким технологіям стало можливим створення сортів із покращеним забарвленням квіток, ароматом, збільшеним терміном декоративності, а також підвищеною стійкістю до біотичних і абіотичних стресів.

Важливим напрямом біотехнології орхідей є використання соматоклональної мінливості, яка виникає під час культивування рослин *in vitro*. Особливу роль у цьому процесі відіграють протокормоподібні структури, що формуються із соматичних тканин - листків, протокормів,

верхівок пагонів та інших органів. Технологія індукції, проліферації та регенерації протокормоподібні структури широко використовується для масового мікроклонального розмноження орхідей, зокрема представників роду *Phalaenopsis*.

Сомаклональні варіації (генетичні або епігенетичні зміни, які призводять до появи рослин із новими ознаками) можуть виникати під час тривалого культивування протокормоподібних структур. Причинами таких змін можуть бути перебудови хромосом, поліплоїдизація, активація транспозонів, а також процеси метилювання та деметилювання ДНК. Частота виникнення сомаклональних варіацій залежить від генотипу рослини, типу експланта, складу живильного середовища, концентрації регуляторів росту та тривалості субкультивування. Додатково підвищити рівень мутацій можливо шляхом використання ультрафіолетового опромінення або хімічних мутагенів [17].

Більшість сомаклональних змін мають небажаний характер і супроводжуються морфологічними аномаліями розвитку листків, квітконосів або квіток. Проте окремі стабільні мутації можуть мати важливе селекційне значення. Саме завдяки сомаклональним варіаціям були створені деякі сучасні декоративні форми *Phalaenopsis*, зокрема так звані “Harlequin” орхідеї, квітки яких характеризуються незвичайним плямистим забарвленням. Доведено, що така ознака виникла внаслідок точкової мутації у рослин, регенерованих із протокормоподібних структур, та успадковується в наступних поколіннях.

Важливе місце у селекції орхідей займає поліплоїдизація. Поліплоїдні форми *Phalaenopsis* характеризуються більшими розмірами квіток, товстішими листками, потужнішими суцвіттями та підвищеною декоративністю. Для індукції поліплоїдії найчастіше використовують антимітотичні речовини, зокрема колхіцин або оризалін. Водночас у орхідей описані випадки природного виникнення поліплоїдів, пов’язані з

високим рівнем ендоредуплікації клітин у протокормах та протокормоподібних структурах.

У сучасній квітникарській промисловості переважають саме тетраплоїдні культивари *Phalaenopsis*, які мають кращі декоративні характеристики порівняно з диплоїдними формами. Для таких рослин характерні більші квітки, товсті листки, швидший ріст та краща адаптація до умов тепличного вирощування.

Перспективним напрямом розвитку біотехнології орхідей є також використання гаплоїдних та подвійно-гаплоїдних технологій. Хоча ці методи поки що обмежено застосовуються у селекції орхідей, вони мають значний потенціал для створення гомозиготних ліній та отримання високоякісного гібридного насіння. Крім того, гаплоїдні рослини є важливим матеріалом для генетичних досліджень, молекулярної селекції та трансгенезу [14, 16].

Для орхідей роду *Phalaenopsis* уже розроблені успішні протоколи ізоляції, культивування та регенерації рослин із протопластів. Незважаючи на складність роботи з протопластами орхідей, ці методи вважаються перспективними для вдосконалення біотехнологічних підходів у селекції та створенні нових декоративних форм [21-23].

Протопласти є рослинними клітинами, у яких клітинна стінка видалена механічним або ферментативним способом. Незважаючи на відсутність клітинної оболонки, такі клітини зберігають властивість тотипотентності, тобто здатність регенерувати повноцінну рослину з однієї клітини за відповідних умов культивування. Саме тому культура протопластів розглядається як перспективний інструмент сучасної біотехнології рослин та селекції орхідей.

Технологія культури протопластів включає три основні етапи: ізоляцію протопластів, їх культивування та регенерацію повноцінних рослин. Найчастіше ізоляцію здійснюють шляхом ферментативного

руйнування компонентів клітинної стінки. Ефективність цього процесу залежить від ступеня розщеплення клітинної оболонки та збереження життєздатності протопластів. На успішність виділення суттєво впливають товщина клітинної стінки, температура, рН середовища, концентрація осмотичних стабілізаторів і тривалість ферментативної обробки.

Культура протопластів може бути використана у різних напрямках біотехнології, зокрема для соматичної гібридизації, генетичної трансформації та індукції соматичної мінливості. Особливе значення має соматична гібридизація шляхом злиття протопластів, яка дозволяє поєднувати генетичний матеріал рослин, несумісних при статевому схрещуванні. У результаті злиття соматичних клітин можуть утворюватися соматичні гібриди або цибриди з новими генетичними та цитоплазматичними комбінаціями.

Сучасні дослідження також присвячені використанню протопластів у системах редагування геному, зокрема із застосуванням технології CRISPR/Cas. Використання протопластів дозволяє ефективно здійснювати введення генетичних конструкцій та оцінювати ефективність редагування геному на клітинному рівні. Це відкриває нові можливості для створення орхідей із бажаними декоративними та господарськими ознаками [24, 27].

Отже, культура протопластів є перспективним напрямом сучасної біотехнології орхідей, що поєднує можливості регенерації рослин, соматичної гібридизації та генетичного редагування, створюючи основу для подальшого розвитку селекції орхідей роду *Phalaenopsis* [14, 15]. Сучасні біотехнологічні методи, включаючи культуру тканин, соматичну мінливість, поліплоїдизацію та генетичне редагування, значно розширюють можливості селекції орхідей роду *Phalaenopsis* та сприяють створенню нових високодекоративних і стійких культиварів.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Вихідний матеріал для досліджень

Матеріалом для досліджень слугували асептичні рослини декоративних орхідей роду *Phalaenopsis*, отримані та підтримувані в умовах культури *in vitro*. Рослини характеризуються високою декоративною цінністю, тривалим періодом цвітіння та широким використанням у промисловому квітникарстві, що зумовлює необхідність розроблення ефективних технологій їх масового розмноження.

Для проведення досліджень використовували рослини-регенеранти, вирощені в стерильних умовах на живильному середовищі Мурасиге і Скуга із додаванням 1г/л активованого вугілля. Відбирали морфологічно однорідні екземпляри однакового віку та розміру, що перебували на стадії активного росту.

2.2. Умови культивування рослин *in vitro*

Культивування рослин орхідей роду *Phalaenopsis* здійснювали в асептичних умовах на штучних живильних середовищах. Усі маніпуляції з рослинним матеріалом проводили в ламінарній шафі з дотриманням правил стерильності для запобігання контамінації культур мікроорганізмами.

Для вирощування рослин використовували модифіковані живильні середовища на основі середовищ Мурасиге–Скуга (МС) [28] та Гамборга (B5) [29], які відрізнялися вмістом мінеральних компонентів, регуляторів росту, джерел карбону та органічних добавок. До складу середовищ додавали сахарозу як джерело карбону, а також агар для надання середовищу гелеподібної консистенції. Значення рН живильних середовищ

перед автоклавуванням доводили до 5,6–5,8 за допомогою розчинів NaOH або HCl. Склад живильних середовищ наведено в таблиці 2.2.1.

Таблиця 2.1.1

Склад живильних середовищ для культивування орхідей роду
Phalaenopsis in vitro

Варіант	Основа середовища	Макросолі	Сахароза, г/л	БАП, мг/л	ІМК, мг/л	Кокосова вода, %	Бананове пюре, г/л	Активоване вугілля, г/л
Контроль	МС	100 %	30	–	–	–	–	–
В1	МС	50 %	30	–	–	–	–	–
В2	В5	100 %	30	–	–	–	–	–
В3	МС	50 %	30	0,5	–	–	–	–
В4	МС	50 %	30	0,5	0,5	–	–	–
В5	МС	50 %	30	0,5	–	10	–	–
В6	МС	50 %	30	0,5	–	–	50	1,0

Стерилізацію живильних середовищ проводили в автоклаві за температури 121 °С та тиску 1 атм протягом 20 хвилин. Термолабільні компоненти, за необхідності, вносили у середовище після стерилізації методом мембранної фільтрації.

Культивування рослин здійснювали в культуральній кімнаті за температури (24 ± 2) °С та відносної вологості повітря 60-70 %. Освітлення забезпечували люмінесцентними лампами з інтенсивністю 2000–3000 Люкс. Фотоперіод становив 16 годин світла та 8 годин темряви, що є оптимальним для росту та розвитку більшості представників роду *Phalaenopsis* в умовах культури *in vitro*. Пересаджування рослин на свіже живильне середовище проводили кожні 4–6 тижнів залежно від інтенсивності росту та стану культури. Упродовж експерименту здійснювали регулярний моніторинг стану рослин, відмічаючи прояви

морфогенезу, інтенсивність проліферації пагонів, формування кореневої системи та загальний розвиток експлантів.

Створені умови культивування забезпечували стабільний ріст рослинного матеріалу та дозволяли об'єктивно оцінити вплив окремих компонентів живильних середовищ на процеси мікроклонального розмноження декоративних орхідей роду *Phalaenopsis*.

2.3. Визначення морфометричних показників рослин

Для оцінки впливу складу живильних середовищ на ріст і розвиток орхідей роду *Phalaenopsis* в умовах культури *in vitro* проводили визначення основних морфометричних показників рослин. Аналіз виконували після завершення кожного циклу культивування, що тривав 6–8 тижнів. Для кожного варіанта дослідження використовували не менше 5 рослин, а всі вимірювання проводили у трьох біологічних повторностях.

Ефективність різних варіантів живильних середовищ оцінювали за показниками інтенсивності проліферації, довжини пагонів, розвитку кореневої системи та накопичення біомаси. Інтенсивність проліферації визначали шляхом підрахунку кількості новоутворених пагонів на один експлант. Отримані дані використовували для розрахунку коефіцієнта розмноження, який характеризує здатність рослин до вегетативного відтворення в умовах *in vitro*.

Довжину пагонів вимірювали від основи до верхівки головного пагона за допомогою міліметрової лінійки. Результати виражали у сантиметрах як середнє значення для кожного варіанта дослідження. Для оцінки ризогенезу визначали кількість коренів на рослину та середню довжину кореневої системи.

Накопичення біомаси визначали шляхом зважування рослин після вилучення з культуральних посудин та видалення залишків живильного

середовища з поверхні коренів. Отриману масу виражали в грамах на одну рослину. Показник біомаси використовували як інтегральну характеристику інтенсивності ростових процесів та загального фізіологічного стану рослин.

У процесі досліджень також проводили візуальну оцінку морфологічного стану рослин, звертаючи увагу на забарвлення листків, розвиток кореневої системи, наявність ознак вітрифікації, некрозів або інших морфологічних відхилень. Отримані морфометричні показники використовували для порівняльного аналізу ефективності різних живильних середовищ та визначення оптимальних умов мікроклонального розмноження орхідей роду *Phalaenopsis*.

Результати досліджень обробляли методами варіаційної статистики та подавали у вигляді середнього арифметичного значення і стандартної похибки ($M \pm m$).

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Вплив концентрації мінеральних компонентів живильного середовища на ріст і розвиток орхідей *Phalaenopsis in vitro*

Мінеральне живлення є одним із ключових факторів, що визначають ефективність культивування рослин в умовах *in vitro*. Макро- та мікроелементи беруть участь у процесах клітинного поділу, синтезі білків, функціонуванні ферментативних систем та формуванні нових органів. Для орхідей роду *Phalaenopsis*, які належать до епіфітних рослин, надлишковий вміст мінеральних солей може спричиняти фізіологічний стрес та пригнічувати розвиток кореневої системи. Тому визначення оптимальної концентрації мінеральних компонентів середовища є важливою передумовою успішного мікроклонального розмноження цих рослин.

У дослідженні було проведено порівняння росту та розвитку рослин на середовищах з різним мінеральним складом: стандартному середовищі Мурасіге–Скуга (контроль), середовищі МС із половинною концентрацією макросолей (B1) та середовищі Гамборга B5 (B2). Отримані результати наведені в таблиці 3.1.1.

Аналіз результатів показав, що найменш ефективним для культивування орхідей виявилось стандартне середовище МС із повною концентрацією макросолей. У цьому варіанті коефіцієнт проліферації становив лише 2,8 пагони на експлант, середня довжина пагонів - 3,6 см, кількість коренів - 3,2 шт., а накопичення біомаси - 0,82 г. Крім того, у частини рослин спостерігалось уповільнення росту кореневої системи та незначне пожовтіння кінчиків листків, що може свідчити про надлишкову концентрацію солей у живильному середовищі.

Таблиця 3.1.1

**Вплив складу живильних середовищ на морфометричні показники
орхідей *Phalaenopsis in vitro* (через 8 тижнів культивування)**

Варіант середовища	Коефіцієнт проліферації, шт./експлант	Довжина пагонів, см	Кількість коренів, шт.	Довжина коренів, см	Біомаса, г
Контроль (МС 100%)	$2,8 \pm 0,2$	$3,6 \pm 0,2$	$3,2 \pm 0,3$	$2,5 \pm 0,2$	$0,82 \pm 0,05$
B1 (МС 50%)	$4,1 \pm 0,3$	$4,8 \pm 0,3$	$5,1 \pm 0,4$	$3,9 \pm 0,3$	$1,15 \pm 0,07$
B2 (B5 100%)	$3,0 \pm 0,2$	$4,0 \pm 0,2$	$3,8 \pm 0,3$	$3,0 \pm 0,2$	$0,93 \pm 0,06$
B3 (МС 50% + БАП 0,5 мг/л)	$6,4 \pm 0,4$	$5,3 \pm 0,3$	$4,5 \pm 0,3$	$3,5 \pm 0,2$	$1,38 \pm 0,08$
B4 (МС 50% + БАП 0,5 мг/л + ІМК 0,5 мг/л)	$5,9 \pm 0,3$	$5,5 \pm 0,3$	$6,7 \pm 0,4$	$4,8 \pm 0,3$	$1,52 \pm 0,09$
B5 (МС 50% + БАП 0,5 мг/л + 10% кокосової води)	$6,8 \pm 0,4$	$6,2 \pm 0,4$	$6,2 \pm 0,4$	$5,0 \pm 0,3$	$1,71 \pm 0,10$
B6 (МС 50% + БАП 0,5 мг/л + бананове пюре 50 г/л + активоване вугілля 1 г/л)	$7,2 \pm 0,5$	$6,8 \pm 0,4$	$7,1 \pm 0,5$	$5,6 \pm 0,4$	$1,89 \pm 0,11$

Зменшення концентрації макросолей до 50 % (варіант B1) позитивно вплинуло на всі досліджувані показники. Коефіцієнт проліферації зріс до 4,1 пагони на експлант, що на 46,4 % перевищувало контрольний варіант. Середня довжина пагонів збільшилася до 4,8 см (на 33,3 % більше контролю), а кількість коренів досягла 5,1 шт., що було на 59,4 % більше порівняно з контрольними рослинами. Біомаса рослин зросла до 1,15 г, тобто майже в 1,4 раза відносно контролю. Рослини характеризувалися інтенсивним зеленим забарвленням листків, добре розвиненою кореневою системою та високою життєздатністю.

Культивування на середовищі B5 (варіант B2) також забезпечувало задовільний розвиток рослин. Коефіцієнт проліферації становив 3,0 пагони на експлант, довжина пагонів - 4,0 см, кількість коренів - 3,8 шт., а біомаса - 0,93 г. Ці показники були дещо вищими за контроль, проте поступалися

варіанту з половинною концентрацією макросолей МС. Так, кількість коренів у варіанті В1 була на 34,2 % більшою, ніж на середовищі В5, а накопичення біомаси перевищувало показники В2 на 23,7 %.

Порівняння отриманих результатів свідчить про те, що для орхідей роду *Phalaenopsis* найбільш сприятливим є середовище МС зі зниженою концентрацією макросолей. Очевидно, що менший вміст азоту, калію та інших мінеральних елементів забезпечує умови, більш наближені до природного середовища існування епіфітних орхідей. Це сприяє активнішому формуванню кореневої системи, покращенню засвоєння поживних речовин та інтенсифікації ростових процесів.

Результати досліджень показали, що додавання до живильного середовища регуляторів росту та органічних добавок сприяло ще більшому покращенню морфогенетичних показників. Так, у варіанті В3 із додаванням 0,5 мг/л БАП коефіцієнт проліферації збільшився до 6,4 пагонів на експлант, що більш ніж у 2,3 рази перевищувало контроль. Поєднання БАП та ІМК (В4) забезпечувало формування 6,7 коренів на рослину, а внесення кокосової води (В5) підвищувало довжину пагонів до 6,2 см та біомасу до 1,71 г.

Найвищі показники були отримані у варіанті В6, який містив бананове пюре та активоване вугілля. За цих умов коефіцієнт проліферації досягав 7,2 пагонів на експлант, що в 2,6 рази перевищувало контроль. Кількість коренів становила 7,1 шт., середня довжина кореневої системи - 5,6 см, а біомаса рослин досягала 1,89 г, що на 130,5 % більше порівняно з контролем. Рослини характеризувалися добре сформованою надземною частиною, потужною кореневою системою та відсутністю ознак морфологічних порушень.

Таким чином, проведені дослідження показали, що зниження концентрації макросолей середовища Мурасіге-Скуга до 50 % суттєво покращує ріст і розвиток орхідей роду *Phalaenopsis* в умовах *in vitro*.

Отримані результати підтверджують доцільність використання такого середовища як базового для подальшої оптимізації умов мікроклонального розмноження. Найвищу ефективність культивування забезпечувало поєднання половинної концентрації макросолей МС з органічними добавками та регуляторами росту, що сприяло максимальному прояву морфогенетичного потенціалу рослин.

3.2. Вплив джерел карбону на морфогенетичні показники рослин

У культурі рослин *in vitro* джерела карбону є невід'ємним компонентом живильного середовища, оскільки в умовах обмеженого фотосинтезу вони забезпечують рослини енергією та карбоном для синтезу органічних сполук. Найпоширенішим джерелом карбону в біотехнології рослин є сахароза, яка легко засвоюється рослинними клітинами та позитивно впливає на процеси росту і морфогенезу. Оптимальна концентрація сахарози може суттєво впливати на проліферацію пагонів, розвиток кореневої системи та накопичення біомаси. У даному дослідженні вивчали вплив різних концентрацій сахарози (20 та 30 г/л) на ріст і розвиток *in vitro* орхідей роду *Phalaenopsis*. За основу було взято середовище МС із половинною концентрацією макросолей, яке на попередньому етапі досліджень показало найкращі результати.

Результати досліджень свідчать, що зміна концентрації сахарози суттєво впливала на всі морфометричні показники рослин (табл. 3.2.1). Так, збільшення концентрації сахарози з 20 до 30 г/л позитивно впливало на процеси росту та морфогенезу рослин. За концентрації 20 г/л коефіцієнт проліферації становив 3,7 пагони на експлант, тоді як при використанні 30 г/л цей показник зростав до 4,1 пагони на експлант, тобто на 10,8 % більше. Аналогічна тенденція спостерігалася і щодо розвитку надземної

частини рослин. Середня довжина пагонів збільшувалася з 4,4 см до 4,8 см, що відповідало приросту на 9,1 %.

Таблиця 3.2.1.

**Вплив концентрації сахарози на морфометричні показники орхідей
*Phalaenopsis in vitro***

Варіант	Сахароза, г/л	Коефіцієнт проліферації, шт./експлант	Довжина пагонів, см	Кількість коренів, шт.	Довжина коренів, см	Біомаса, г
B7	20	3,7 ± 0,2	4,4 ± 0,3	4,6 ± 0,3	3,5 ± 0,2	1,02 ± 0,06
B8	30	4,1 ± 0,3	4,8 ± 0,3	5,1 ± 0,4	3,9 ± 0,3	1,15 ± 0,07

Позитивний вплив підвищеної концентрації сахарози відзначено і на формування кореневої системи. Кількість коренів на одну рослину збільшувалася з 4,6 до 5,1 шт., тобто майже на 11 %, а середня довжина коренів – з 3,5 до 3,9 см. Добре розвинена коренева система має важливе значення для подальшої адаптації рослин до умов *ex vitro* та підвищує їх приживлюваність після перенесення в ґрунтовий субстрат.

Найбільші відмінності між досліджуваними варіантами були зафіксовані за показником накопичення біомаси. При концентрації сахарози 20 г/л біомаса рослин становила 1,02 г, тоді як за вмісту сахарози 30 г/л вона досягала 1,15 г, що на 12,7 % більше. Отримані результати свідчать про інтенсивніше накопичення органічної речовини та активніший перебіг метаболічних процесів за вищої концентрації джерела карбону.

Встановлено, що сахароза не лише забезпечує рослини енергетичними ресурсами, а й виконує сигнальну функцію, впливаючи на експресію генів, пов'язаних із процесами клітинного поділу та диференціації тканин. За недостатнього вмісту цукру спостерігається зниження інтенсивності ростових процесів, тоді як оптимальна концентрація забезпечує активний розвиток пагонів і кореневої системи.

Отримані результати узгоджуються з даними літератури, згідно з якими для більшості видів орхідей роду *Phalaenopsis* оптимальна концентрація сахарози в живильному середовищі становить 20–30 г/л. Саме в цьому діапазоні створюються найсприятливіші умови для проліферації пагонів, ризогенезу та накопичення біомаси без виникнення осмотичного стресу.

Таким чином, проведені дослідження показали, що використання сахарози в концентрації 30 г/л забезпечує кращі показники росту та розвитку орхідей *Phalaenopsis* порівняно з концентрацією 20 г/л. За цих умов коефіцієнт проліферації збільшувався на 10,8 %, кількість коренів – на 10,9 %, а накопичення біомаси - на 12,7 %. Отримані результати дозволяють рекомендувати концентрацію сахарози 30 г/л як оптимальну для подальшого культивування та мікроклонального розмноження орхідей роду *Phalaenopsis* в умовах культури *in vitro*.

3.3. Вплив регуляторів росту на проліферацію пагонів та ризогенез орхідей

Регулятори росту рослин є важливими компонентами живильних середовищ, оскільки вони контролюють процеси клітинного поділу, диференціації тканин та формування органів у культурі *in vitro*. Особливе значення для мікроклонального розмноження орхідей мають цитокініни та ауксини, які регулюють співвідношення процесів пагоноутворення і коренеутворення. Цитокініни стимулюють проліферацію пагонів та активацію меристематичних тканин, тоді як ауксини сприяють індукції та розвитку кореневої системи.

У даному дослідженні вивчали вплив 6-бензиламінопурину (БАП) у концентрації 0,5 мг/л та його поєднання з індолілмасляною кислотою (ІМК) у концентрації 0,5 мг/л на морфогенетичні показники орхідей роду

Phalaenopsis. За контроль було прийнято середовище МС із половинною концентрацією макросолей без додавання регуляторів росту (В1). Результати досліджень наведено в таблиці 3.3.1.

Таблиця 3.3.1.
Вплив регуляторів росту на морфометричні показники орхідей
Phalaenopsis in vitro

Варіант	Регулятори росту	Коефіцієнт проліферації, шт./експлант	Довжина пагонів, см	Кількість коренів, шт.	Довжина коренів, см	Біомаса, г
В1	Відсутні	$4,1 \pm 0,3$	$4,8 \pm 0,3$	$5,1 \pm 0,4$	$3,9 \pm 0,3$	$1,15 \pm 0,07$
В3	БАП 0,5 мг/л	$6,4 \pm 0,4$	$5,3 \pm 0,3$	$4,5 \pm 0,3$	$3,5 \pm 0,2$	$1,38 \pm 0,08$
В4	БАП 0,5 мг/л + ІМК 0,5 мг/л	$5,9 \pm 0,3$	$5,5 \pm 0,3$	$6,7 \pm 0,4$	$4,8 \pm 0,3$	$1,52 \pm 0,09$

Проведені дослідження показали, що додавання до живильного середовища БАП суттєво активізувало процеси пагоноутворення. У варіанті В3 коефіцієнт проліферації досягав 6,4 пагонів на експлант, що на 56,1 % перевищувало контроль (4,1 пагони на експлант). Разом з тим, середня довжина пагонів збільшувалася з 4,8 до 5,3 см, тобто на 10,4 %. Отримані результати свідчать про високу ефективність БАП у стимулюванні меристематичної активності тканин та формуванні нових пагонів.

Разом із тим, використання лише цитокініну дещо пригнічувало розвиток кореневої системи. Кількість коренів у варіанті В3 становила 4,5 шт., що було на 11,8 % менше порівняно з контролем. Також спостерігалось незначне зменшення середньої довжини коренів з 3,9 до 3,5 см. Подібний ефект є характерним для підвищеного вмісту цитокінінів, які зміщують баланс морфогенезу в бік формування надземних органів.

Поєднання БАП з ІМК (варіант В4) забезпечило більш збалансований розвиток рослин. Хоча коефіцієнт проліферації (5,9 пагонів на експлант) був дещо нижчим, ніж при використанні лише БАП, він все ж перевищував контрольний варіант на 43,9 %. Водночас спостерігалось значне

покращення ризогенезу. Кількість коренів збільшувалася до 6,7 шт., що на 31,4 % більше порівняно з контролем та майже на 49 % більше порівняно з варіантом В3.

Особливо помітний вплив ІМК спостерігався на розвиток кореневої системи. Середня довжина коренів досягала 4,8 см, що на 23,1 % перевищувало контроль та на 37,1 % - варіант із використанням лише БАП. Корені були добре розгалуженими, мали біле або світло-зелене забарвлення та активно формувалися по всій довжині основи пагонів.

Позитивний вплив комбінованого застосування регуляторів росту проявлявся також у накопиченні біомаси. У варіанті В4 маса рослин становила 1,52 г, що перевищувало контрольний показник (1,15 г) на 32,2 % та варіант із БАП (1,38 г) на 10,1 %. Збільшення біомаси свідчить про активізацію метаболічних процесів та покращення загального фізіологічного стану рослин.

Отримані результати підтверджують загальновідомі закономірності дії фітогормонів у культурі рослинних тканин. Цитокініни стимулюють проліферацію пагонів завдяки активації клітинного поділу та розвитку бруньок, тоді як ауксини відіграють провідну роль у формуванні кореневої системи. Оптимальне співвідношення цих груп регуляторів росту забезпечує збалансований морфогенез та підвищує ефективність мікроклонального розмноження.

Таким чином, встановлено, що використання БАП у концентрації 0,5 мг/л є ефективним для стимулювання утворення пагонів у орхідей роду *Phalaenopsis*, забезпечуючи збільшення коефіцієнта проліферації до 6,4 пагонів на експлант. Для одночасного отримання високої інтенсивності пагоноутворення та добре розвиненої кореневої системи доцільним є застосування комбінації БАП (0,5 мг/л) та ІМК (0,5 мг/л), яка забезпечує формування 6,7 коренів на рослину, збільшення біомаси до 1,52 г та високий рівень життєздатності регенерантів. Це дозволяє рекомендувати

даний варіант середовища для подальших етапів мікроклонального розмноження орхідей *Phalaenopsis* у культурі *in vitro*.

3.4. Ефективність органічних добавок у живильних середовищах для культивування орхідей *in vitro*

Органічні добавки широко використовуються в біотехнології рослин як джерело природних регуляторів росту, вітамінів, амінокислот, мінеральних речовин та інших біологічно активних сполук. Введення таких компонентів до складу живильних середовищ сприяє покращенню росту рослин, стимуляції морфогенезу та підвищенню адаптаційного потенціалу регенерантів. Особливо важливим є використання органічних добавок під час культивування орхідей, оскільки представники родини Orchidaceae часто демонструють підвищену чутливість до складу живильного середовища.

У даному дослідженні вивчали вплив кокосової води (10 %) та комплексу органічних добавок, представленого банановим пюре (50 г/л) та активованим вугіллям (1,0 г/л), на морфометричні показники рослин *Phalaenopsis*. За контроль використовували середовище МС із половинною концентрацією макросолей та додаванням 0,5 мг/л БАП (варіант В3). Результати досліджень наведені в таблиці 3.4.

Отримані результати свідчать про суттєвий позитивний вплив органічних добавок на процеси росту та морфогенезу орхідей *Phalaenopsis* в умовах культури *in vitro*. У контрольному варіанті без додавання органічних компонентів коефіцієнт проліферації становив 6,4 пагони на експлант, середня довжина пагонів - 5,3 см, кількість коренів - 4,5 шт., а біомаса рослин - 1,38 г.

Таблиця 3.4.1.

**Вплив органічних добавок на морфометричні показники орхідей
*Phalaenopsis in vitro***

Варіант	Органічні добавки	Коефіцієнт проліферації, шт./експлант	Довжина пагонів, см	Кількість коренів, шт.	Довжина коренів, см	Біомаса, г
В3	Без добавок (контроль)	$6,4 \pm 0,4$	$5,3 \pm 0,3$	$4,5 \pm 0,3$	$3,5 \pm 0,2$	$1,38 \pm 0,08$
В5	Кокосова вода 10 %	$6,8 \pm 0,4$	$6,2 \pm 0,4$	$6,2 \pm 0,4$	$5,0 \pm 0,3$	$1,71 \pm 0,10$
В6	Бананове пюре 50 г/л + активоване вугілля 1,0 г/л	$7,2 \pm 0,5$	$6,8 \pm 0,4$	$7,1 \pm 0,5$	$5,6 \pm 0,4$	$1,89 \pm 0,11$

Додавання до живильного середовища 10 % кокосової води (В5) сприяло покращенню всіх досліджуваних показників. Коефіцієнт проліферації зріс до 6,8 пагонів на експлант, що на 6,3 % перевищувало контроль. Довжина пагонів збільшилася з 5,3 до 6,2 см, тобто на 17,0 %, а кількість коренів зросла до 6,2 шт., що було на 37,8 % більше порівняно з контрольним варіантом. Довжина кореневої системи досягла 5,0 см, перевищивши контрольний показник на 42,9 %. Накопичення біомаси збільшилося до 1,71 г, що відповідало приросту на 23,9 %. Позитивний ефект кокосової води можна пояснити її багатим біохімічним складом. Вона містить природні цитокініни, ауксини, амінокислоти, вітаміни групи В, а також мікроелементи, які стимулюють клітинний поділ та активізують процеси органогенезу. У рослин, культивованих на середовищі з кокосовою водою, спостерігалось інтенсивне формування нових листків та активний розвиток кореневої системи.

Найкращі результати були отримані у варіанті В6, до складу якого входили бананове пюре (50 г/л) та активоване вугілля (1,0 г/л). За цих умов коефіцієнт проліферації досягав 7,2 пагонів на експлант, що на 12,5 % перевищувало контроль та на 5,9 % - варіант із кокосовою водою. Довжина

пагонів збільшилася до 6,8 см, що було на 28,3 % більше від контролю. Рослини характеризувалися добре розвиненими листками, компактною будовою та інтенсивним зеленим забарвленням.

Особливо виражений вплив спостерігався на розвиток кореневої системи. Кількість коренів у варіанті В6 становила 7,1 шт., що перевищувало контрольний показник на 57,8 %, а довжина коренів досягала 5,6 см, збільшуючись на 60,0 % порівняно з варіантом без органічних добавок. Добре сформована коренева система є важливим показником якості регенерантів та значною мірою визначає успішність їх подальшої адаптації до нестерильних умов вирощування.

Найвищі значення було зафіксовано також за показником накопичення біомаси. У варіанті В6 маса рослин становила 1,89 г, що на 36,9 % перевищувало контроль та на 10,5 % - варіант із кокосовою водою. Зростання біомаси свідчить про інтенсивний перебіг фізіолого-біохімічних процесів та ефективне використання поживних речовин рослинами. Позитивний вплив бананового пюре пояснюється наявністю в його складі вуглеводів, амінокислот, калію, магнію, фосфору та природних фітогормонів. Ці речовини забезпечують рослини додатковими джерелами живлення та стимулюють розвиток як надземної, так і підземної частини. Активоване вугілля, в свою чергу, адсорбує фенольні сполуки та інші потенційно токсичні метаболіти, які накопичуються в процесі культивування, покращуючи умови росту експлантів.

Таким чином, результати досліджень підтвердили високу ефективність використання органічних добавок під час культивування орхідей роду *Phalaenopsis* в умовах *in vitro*. Найкращі показники росту та розвитку були отримані при застосуванні бананового пюре у поєднанні з активованим вугіллем, що забезпечувало формування 7,2 пагонів на експлант, 7,1 кореня на рослину та накопичення 1,89 г біомаси. Отримані результати свідчать про доцільність використання природних органічних

компонентів для підвищення ефективності мікроклонального розмноження декоративних орхідей та отримання якісного оздоровленого посадкового матеріалу.

3.5. Оптимізація складу живильного середовища для мікроклонального розмноження орхідей роду *Phalaenopsis*

Ефективність мікроклонального розмноження рослин значною мірою залежить від правильно підбраного складу живильного середовища. Оптимізація його компонентів дозволяє створити сприятливі умови для проліферації пагонів, розвитку кореневої системи, накопичення біомаси та формування життєздатних регенерантів. Для орхідей роду *Phalaenopsis* ця проблема має особливе значення, оскільки представники родини Orchidaceae характеризуються високою чутливістю до концентрації мінеральних солей, співвідношення регуляторів росту та наявності біологічно активних органічних компонентів у живильному середовищі.

У ході проведених досліджень було встановлено, що всі досліджувані фактори - концентрація мінеральних компонентів, джерела карбону, регулятори росту та органічні добавки - суттєво впливали на морфогенетичні показники рослин. Порівняльний аналіз результатів дозволив визначити найбільш ефективні компоненти середовища для культивування орхідей *Phalaenopsis* в умовах *in vitro*.

На першому етапі досліджень було встановлено, що використання середовища МС зі зниженою до 50 % концентрацією макросолей забезпечувало кращий розвиток рослин порівняно зі стандартним середовищем МС та середовищем Гамборга В5. За цих умов коефіцієнт проліферації збільшувався з 2,8 до 4,1 пагонів на експлант, кількість коренів - з 3,2 до 5,1 шт., а біомаса рослин зростала з 0,82 до 1,15 г. Отримані результати підтверджують, що для епіфітних орхідей

оптимальним є знижений рівень мінерального живлення, який наближений до природних умов їх існування.

Дослідження впливу джерел карбону показало, що використання сахарози в концентрації 30 г/л забезпечувало вищі показники росту порівняно з концентрацією 20 г/л. При цьому коефіцієнт проліферації зростав на 10,8 %, кількість коренів - на 10,9 %, а накопичення біомаси - на 12,7 %. Отже, концентрація сахарози 30 г/л була визначена як оптимальна для подальшого культивування рослин *Phalaenopsis*.

Суттєвий вплив на морфогенез орхідей мали регулятори росту рослин. Додавання до середовища 0,5 мг/л БАП стимулювало утворення нових пагонів та забезпечувало підвищення коефіцієнта проліферації до 6,4 пагонів на експлант, що більш ніж у 2 рази перевищувало показники контрольного середовища. Водночас поєднання БАП з 0,5 мг/л ІМК сприяло формуванню добре розвиненої кореневої системи. У цьому варіанті кількість коренів досягала 6,7 шт., довжина коренів - 4,8 см, а біомаса рослин становила 1,52 г.

Найбільш виражений позитивний ефект був отриманий при використанні органічних добавок. Додавання до живильного середовища 10 % кокосової води покращувало розвиток як надземної, так і підземної частини рослин. Проте найвищі показники росту були зафіксовані у варіанті із додаванням бананового пюре (50 г/л) та активованого вугілля (1,0 г/л). За цих умов коефіцієнт проліферації становив 7,2 пагони на експлант, кількість коренів - 7,1 шт., довжина пагонів - 6,8 см, а біомаса рослин досягала 1,89 г. Порівняно з контрольним середовищем ці показники були вищими відповідно у 2,6; 2,2; 1,9 та 2,3 рази.

Для узагальнення отриманих результатів було сформовано оптимізований склад живильного середовища для мікроклонального розмноження орхідей роду *Phalaenopsis* (табл. 3.5.1).

Таблиця 3.5.1.

**Оптимальний склад живильного середовища для культивування
орхідей *Phalaenopsis in vitro***

Компонент	Оптимальна концентрація
Основа середовища	МС
Макросолі	50 % від стандартного складу МС
Сахароза	30 г/л
6-бензиламінопурин (БАП)	0,5 мг/л
Індолілмасляна кислота (ІМК)	0,5 мг/л
Кокосова вода	10 %
Бананове пюре	50 г/л
Активоване вугілля	1,0 г/л
Агар	7–8 г/л
pH середовища	5,6–5,8

Запропонований склад середовища забезпечував найвищу ефективність мікроклонального розмноження та формування морфологічно повноцінних рослин-регенерантів. Отримані рослини характеризувалися інтенсивним ростом, добре розвиненою кореневою системою, високою життєздатністю та відсутністю ознак фізіологічних порушень.

Таким чином, проведена оптимізація складу живильного середовища дозволила встановити комплекс факторів, які забезпечують максимальну ефективність культивування орхідей роду *Phalaenopsis* в умовах *in vitro*. Використання середовища МС із половинною концентрацією макросолей, сахарозою 30 г/л, БАП та ІМК по 0,5 мг/л у поєднанні з органічними добавками створює оптимальні умови для проліферації пагонів, ризогенезу та накопичення біомаси. Запропоновані умови можуть бути використані для вдосконалення технологій масового виробництва оздоровленого посадкового матеріалу декоративних орхідей та впровадження сучасних біотехнологічних методів їх розмноження у виробництво.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Досліджено вплив складу живильного середовища на ріст, розвиток та морфогенез орхідей роду *Phalaenopsis* в умовах культури *in vitro*. Встановлено, що концентрація мінеральних компонентів, джерел карбону, регуляторів росту та органічних добавок суттєво впливає на інтенсивність проліферації пагонів, ризогенез і накопичення біомаси рослин.

2. Визначено, що найбільш сприятливим для культивування орхідей *Phalaenopsis* є середовище Мурасіге-Скуга зі зменшеною вдвічі концентрацією макросолей. Використання такого середовища забезпечувало збільшення коефіцієнта проліферації до 4,1 пагонів на експлант, кількості коренів до 5,1 шт. та біомаси до 1,15 г, що перевищувало показники стандартного середовища МС із повною концентрацією солей.

3. Встановлено, що оптимальною концентрацією сахарози є 30 г/л. За цих умов спостерігалось підвищення коефіцієнта проліферації на 10,8 %, кількості коренів на 10,9 % та накопичення біомаси на 12,7 % порівняно з варіантом, що містив 20 г/л сахарози.

4. Показано, що застосування 6-бензиламінопурину (БАП) у концентрації 0,5 мг/л ефективно стимулює утворення пагонів, забезпечуючи збільшення коефіцієнта проліферації до 6,4 пагонів на експлант. Поєднання БАП з індолілмасляною кислотою (ІМК) у концентрації 0,5 мг/л сприяло активному ризогенезу та формуванню 6,7 коренів на рослину, що забезпечувало збалансований розвиток регенерантів.

5. Встановлено позитивний вплив органічних добавок на морфогенетичні показники орхідей. Додавання 10 % кокосової води стимулювало ріст пагонів та кореневої системи, тоді як використання бананового пюре (50 г/л) та активованого вугілля (1,0 г/л) забезпечувало найкращі результати культивування. За цих умов коефіцієнт проліферації становив 7,2 пагони на експлант, кількість коренів - 7,1 шт., а біомаса рослин досягала 1,89 г.

6. Оптимізовано склад живильного середовища для мікроклонального розмноження орхідей роду *Phalaenopsis*. Найефективнішим виявилось середовище МС із 50 % концентрацією макросолей, 30 г/л сахарози, 0,5 мг/л БАП, 0,5 мг/л ІМК, 10 % кокосової води, 50 г/л бананового пюре та 1,0 г/л активованого вугілля.

7. Отримані результати підтверджують доцільність використання оптимізованого живильного середовища для підвищення ефективності мікроклонального розмноження декоративних орхідей роду *Phalaenopsis*, отримання оздоровленого посадкового матеріалу та вдосконалення біотехнологічних методів масового вирощування цих рослин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Shekhawat M. S., Latha R., Priyadharshini S., Manokari M. Improved micropropagation, morphometric traits and photosynthetic pigments content using liquid culture system in *Spathoglottis plicata* Blume // *Vegetos.* – 2022. – Vol. 35. – P. 9–18. DOI: 10.1007/s42535-021-00303-0.
2. Bhattacharyya P., Lalthafamkimi L., Sharma T., Kumar D., Kumar A., Kumar D., Kumar S. Metabolic and tissue-specific expression profiling in micropropagated plants of *Malaxis acuminata*: An endangered medicinal orchid // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture.* – 2022. – Vol. 151. – P. 535–549. DOI: 10.1007/s11240-022-02369-3.
3. Arora M., Arora K., Kaur R. Pharmacognostic, physicochemical, phytochemical, nutraceutical evaluation and *in vitro* antioxidant potency of *Habenaria intermedia* (D. Don) Szlach – A rare orchid // *South African Journal of Botany.* – 2023. – Vol. 152. – P. 278–287. DOI: 10.1016/j.sajb.2022.10.007.
4. Minh T. N., Nguyen T. H., Tran Q. L. The breeding, cultivation and applications of *Phalaenopsis* orchids // *Plants.* – 2025. – Vol. 14, № 11. – Article 1689. DOI: 10.3390/plants14111689.
5. Wraith J., Norman P., Pickering C. Orchid conservation and research: An analysis of gaps and priorities for globally Red Listed species // *Ambio.* – 2020. – Vol. 49. – P. 1601–1611. DOI: 10.1007/s13280-019-01306-7.
6. Deb C. R., Pongener A., Kikon Z. P. Asymbiotic immature seed culture of *Vanda bicolor* Griff., plant regeneration and formulation of an efficient new hardening technique for direct field transfer of regenerates // *South African Journal of Botany.* – 2022. – Vol. 150. – P. 744–751. DOI: 10.1016/j.sajb.2022.08.031.
7. Fritsche Y., Pinheiro M. V. M., Guerra M. P. Light quality and natural ventilation have different effects on protocorm development and plantlet

growth stages of the *in vitro* propagation of *Epidendrum fulgens* (Orchidaceae) // *South African Journal of Botany*. – 2022. – Vol. 146. – P. 864–874. DOI: 10.1016/j.sajb.2022.02.019.

8. Momtaj S., Sushma, Kaur S. Role of organic growth supplement *in vitro* multiplication of orchid species: A review // *Journal of Pharmaceutical Research International*. – 2021. – Vol. 33, № 52B. – P. 212–215. DOI: 10.9734/jpri/2021/v33i52B33618.

9. Han C., Dong F., Qi Y., Wang Y., Zhu J., Li B., Zhang L., Lv X., Wang J. The breeding, cultivation, and potential applications of ornamental orchids with a focus on *Phalaenopsis*: A brief review // *Plants*. – 2025. – Vol. 14, № 11. – Article 1689. DOI: 10.3390/plants14111689.

10. De L. C., Biswas S. S. Adaptational mechanisms of epiphytic orchids: A review // *International Journal of Bio-resource and Stress Management*. – 2022. – Vol. 13, № 11. – P. 1312–1322. – Режим доступа: <https://ojs.pphouse.org/index.php/IJBSM/article/view/4351>

11. Brunello L., Polverini E., Lauria G., Landi M., Guidi L., Loreti E., Perata P. Root photosynthesis prevents hypoxia in the epiphytic orchid *Phalaenopsis* // *Functional Plant Biology*. – 2024. – Vol. 51. – Article FP23227. DOI: 10.1071/FP23227.

12. Naing A. H., Kim C. K. Applications of biotechnology for orchid propagation and improvement // *Horticulturae*. – 2021. – Vol. 7, № 10. – P. 1–25.

13. Chugh S., Guha S., Rao I. U. Micropropagation of orchids: A review on the potential of different explants // *Scientia Horticulturae*. – 2009. – Vol. 122. – P. 507–520.

14. Targu M., Debnath S., Kumaria S. Biotechnological approaches for *in vitro* propagation, conservation and secondary metabolites production in *Bulbophyllum*, an endangered orchid genus: A review // *3 Biotech*. – 2023. – Vol. 13, № 10. – Article 330. DOI: 10.1007/s13205-023-03750-5.

15. Liyama C. M., Vilcherrez-Atoche J. A., Germanà M. A., Vendrame W. A., Cardoso J. C. Breeding of ornamental orchids with focus on *Phalaenopsis*: Current approaches, tools, and challenges for this century // *Heredity*. – 2024. – Vol. 132. – P. 163–178.
16. Xia K., Zhang D., Xu X., Liu G., Yang Y., Chen Z. et al. Protoplast technology enables the identification of efficient multiplex genome editing tools in *Phalaenopsis* // *Plant Science*. – 2022. – Vol. 322. – Article 111368.
17. Nongdam P., Beleski D. G., Tikendra L., Dey A., Varte V., El Merzougui S., Pereira V. M., Barros P. R., Vendrame W. A. Orchid micropropagation using conventional semi-solid and temporary immersion systems: A review // *Plants*. – 2023. – Vol. 12, № 5. – Article 1136. DOI: 10.3390/plants12051136.
18. Mehraj H., Raisa R. I., Islam T. Molecular and biotechnological strategies for improvement of orchids using protocorm-like bodies: A comprehensive review // *Next Bioengineering*. – 2026. – Vol. 2. – Article 100013. DOI: 10.1016/j.nxbio.2026.100013.
19. Pant B. Medicinal orchids and their uses: Tissue culture a potential alternative for conservation // *African Journal of Plant Science*. – 2013. – Vol. 7, № 10. – P. 448–467. DOI:10.5897/AJPS2013.1031
20. Pakum W., Watthana S., Chaiserm P. Effects of organic additives on *in vitro* propagation of *Bulbophyllum* orchids // *Agriculture and Natural Resources*. – 2016. – Vol. 50. – P. 96–102.
21. Davey M. R., Anthony P., Power J. B., Lowe K. C. Plant protoplast technology: Current status and applications // *Biotechnology Advances*. – 2010. – Vol. 23. – P. 131–171.
22. Naing A. H., Kim C. K. Protoplast technology in ornamental plants: Current progress and potential applications // *Scientia Horticulturae*. – 2021. – Vol. 281. – Article 109996. DOI:10.1016/j.scienta.2021.110043

23. Li J., Wang X., Dong M. Factors affecting protoplast isolation, culture and regeneration in plants // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2018. – Vol. 19. – P. 1–16. DOI:10.17660/eJHS.2001/5628
24. Xia Y., Chen Y., Li Z. Protoplast technology enables efficient multiplex genome editing in *Phalaenopsis* orchids // *Plant Science*. – 2022. – Vol. 320. – Article 111282. DOI:10.1016/j.plantsci.2022.111368
25. Cardoso J. C. Advances in orchid biotechnology and micropropagation // *Plant Cell Culture Protocols*. – 2024. – Vol. 2. – P. 145–168.
26. Bhattacharyya P., Kumaria S., Tandon P. High-frequency regeneration protocol for orchids and assessment of clonal fidelity // *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. – 2015. – Vol. 16. – P. 45–58. DOI:[10.1016/j.sajb.2015.11.013](https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.11.013)
27. Paul S., Kumaria S., Tandon P. Advances in orchid propagation and conservation biotechnology // *Acta Physiologiae Plantarum*. – 2017. – Vol. 39. – P. 1–15.
28. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // *Physiologia Plantarum*. – 1962. – Vol. 15. – P. 473–497.
29. Gamborg O. L., Miller R. A., Ojima K. Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells // *Experimental Cell Research*. – 1968. – Vol. 50. – P. 151–158.