

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет агротехнологій та природокористування

Кафедра біотехнології та хімії

Допущено до захисту

Завідувач кафедри Коваленко В.М.

«»2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ
ОСВІТИ

Стійкість рослин *Paulownia* на етапі
in vitro* - *ex vitro

за спеціальністю 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Виконав

.....
Підпис

Любиченко В.О.

Прізвище, ініціали

Група

БІО2001

Назва групи

Науковий керівник

.....
Підпис

Кравченко Н.В.

Прізвище, ініціали

Суми – 2024

АНОТАЦІЯ

Підсумкова атестаційна робота викладена на 32 сторінках, містить 5 зображень та 5 таблиць. Список використаних джерел налічує 57 праць.

Новизна цього дослідження полягає у вивченні стабільності рослин павловнії в стадії *in vitro-ex vitro*. У цьому дослідженні ми досліджували фізіологічні та біохімічні показники рослин павловнії під час переходу від умов *in vitro* до умов *ex vitro*.

Основні етапи дослідження включають вирощування рослин у стерильних умовах, адаптацію рослин до зовнішніх умов та оцінку їх стійкості до різних стресових факторів, таких як посуха, низькі температури, вплив шкідників.

Для аналізу фізіологічних показників вимірювали рівень фотосинтетичної активності, вміст хлорофілу, водний баланс, біомасу рослин.

Біохімічний аналіз включає визначення вмісту білків, вуглеводів, антиоксидантів та інших біологічно активних сполук.

Результати показали, що рослини павловнії дуже стійкі до коротких періодів посухи та низьких температур, а також помірно стійкі до шкідників.

Антиоксидантна активність і вміст флавоноїдів значно підвищувалися під впливом стресових станів, що свідчить про активацію захисних механізмів.

Отримані результати можуть бути використані для оптимізації умов вирощування павловнії в різних кліматичних зонах, підвищуючи тим самим ефективність вирощування та стійкість до шкідливих факторів зовнішнього середовища.

Ключові слова: ІФА, ПЛР, DFFG (дифенілпікрилгідрозилового радикалу), *in vitro*, *ex vitro*

ANNOTATION

The final certification work is laid out on 32 pages, contains 5 figures and 5 tables. The list of used sources includes 57 works.

The novelty of this research lies in the study of the stability of paulownia plants in the in vitro-ex vitro stage. In this study, we investigated the physiological and biochemical parameters of paulownia plants during the transition from in vitro to ex vitro conditions.

The main stages of the research include growing plants in sterile conditions, adapting plants to external conditions and evaluating their resistance to various stress factors, such as drought, low temperatures, and the impact of pests.

To analyze physiological indicators, the level of photosynthetic activity, chlorophyll content, water balance, and plant biomass were measured.

Biochemical analysis includes determination of the content of proteins, carbohydrates, antioxidants and other biologically active compounds.

The results showed that paulownia plants are very resistant to short periods of drought and low temperatures, and moderately resistant to pests.

Antioxidant activity and the content of flavonoids significantly increased under the influence of stress conditions, which indicates the activation of protective mechanisms.

The obtained results can be used to optimize the conditions for growing paulownia in different climatic zones, thereby increasing the efficiency of cultivation and resistance to harmful environmental factors.

Keywords: ELISA, PCR, DFFG (diphenylpicrylhydrazyl radical), in vitro, ex vitro

ВСТУП	5
--------------------	---

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА PAULOWNIA

1.1. Біологічні особливості Paulownia.....	6
1.1.1. Анатомо-морфологічні характеристики.....	7
1.1.2. Екологічні вимоги та ареал поширення.....	7
1.2. Використання Paulownia в сільському господарстві та промисловості.....	8

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Рослинний матеріал. Вибір і підготовка.....	9
2.2. Методи культивування <i>in vitro</i>	10
2.2.1. Методики мікроклонального розмноження.....	12
2.3. Методи адаптації <i>ex vitro</i>	15
2.4. Методи оцінки стійкості рослин.....	18

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Вплив різних середовищ на ріст та розвиток.....	19
3.2 Порівняльний аналіз росту <i>in vitro</i> та <i>ex vitro</i>	20
3.4. Оцінка стійкості рослин.....	21
3.4.1. Аналіз фізіологічних показників.....	22
3.4.2. Аналіз біохімічних показників.....	23
3.4.3. Аналіз морфологічних показників.....	24

ВИСНОВКИ	26
-----------------------	----

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	28
---	----

ВСТУП

Павловнія (наукова назва: *Paulownia*) — рід швидкозростаючих дерев родини *Paulowniaceae*. Ці дерева століттями використовували в різних галузях промисловості, включаючи столярне, садівницьке та медицину. Павловнія привернула увагу завдяки швидкому росту, високій біомасі та стійкості до різноманітних умов середовища. Завдяки цим властивостям Павловнія є перспективною культурою для вирощування в умовах зміни клімату та зростаючої потреби сталого розвитку сільського господарства. В останні роки павловнія стала центром наукових досліджень, спрямованих на вивчення її фізіологічних, біохімічних і морфологічних особливостей. Зокрема, було вивчено вплив різних методів культивування, включаючи культуру *in vitro* та *ex vitro*, на ріст і розвиток цієї рослини. Особливу увагу приділено вивченню стресостійкості павловнії, що є важливим аспектом адаптації павловнії до нових екологічних зон.



РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА PAULOWNIA

Протягом останнього десятиліття вчені розробили методи для синтезу та характеристики багатьох нових матеріалів, у тому числі наночасток і нанорозмірних матеріалів з контрольованими властивостями. Отримання наночасток є важливим завданням у нанонауках та нанотехнологіях.

Павловнія (лат. Paulownia) — рід дерев із сімейства Павловнієвих, що включає кілька листяних дерев, які походять з Китаю, але згодом поширилися в інших частинах світу.

Розміри цих швидкорослих дерев можуть досягати висоти від 10 до 25 метрів. Діаметр стовбура може досягати 1 метра. Великі, серцеподібні з зубчастими краями, до 30 см в довжину. Листя зазвичай зелене, але восени жовтіє. Квітки - великі, трубчасті, зібрані в суцвіття, зазвичай світло-фіолетові або сині. Вони розпускаються навесні до розпускання листя, що робить це дерево особливо привабливим. Стручки плоду містять багато численних дрібних насіння і поширюються вітром.

Загалом павловнія відома своєю надзвичайно швидкою швидкістю росту. За сприятливих умов дерево може вирости на 3-5 метрів за рік, має розгалужену кореневу систему, яка допомагає закріпити ґрунт і запобігти ерозії тим самим дерева можуть жити 70 років і більше.

1.1.1 Анатоμο-морфологічні характеристики

Деревина павловнії має пористу структуру, яка варіюється від кільцевої до напівкільцевої. Судини в дереві розташовуються в основному поодиночки, але можуть зустрічатися і радіальними групами по 2-3 судини. Серед дерев також відзначається присутність телофізій, які з'являються усудинах і заповнюють їх.

Осьова паренхіма зазвичай дронується або має крилоподібну форму, що сприяє ефективному переносу поживних речовин. Довжина волокон уповільненої деревини може досягати значних розмірів, що забезпечує високу міцність деревини. Аналіз мікроструктури показує, що волокно павловнії має високий ступінь кристалічності, а також впливає на фізичні властивості деревини.

1.1.2. Екологічні вимоги та область поширення

Павловнія добре росте в помірному і субтропічному кліматі. Рослина може витримувати широкий діапазон температур, але від 24 до 29 °С.

Щодо ґрунту, рослини родини Paulownia віддають перевагу добредренованим ґрунтам з нейтральною або слаболужною реакцією (рН6-8). Може рости на піщаних, суглинних і навіть глинистих ґрунтах, але найкращі результати досягаються на родючих і вологих ґрунтах. Вимагає достатньої кількості вологи, особливо в період активного росту, але погано переносить застій води.

Завдяки своїй витривалості та швидкому зростанню, вона поширюється далеко за межі свого природного ареалу. Деревина вирощується для різних цілей, включаючи виробництво біомаси, декоративні та рекультиваційні цілі. Швидко захоплює нові території, що робить ефективним інструментом для боротьби з ерозією та відновлення деградованих земель.

1.2. Використання Paulownia в сільському господарстві та промисловості

Універсальна рослина, яка широко використовується як у сільському господарстві, так і в промисловості завдяки своїм унікальним властивостям.

Сільське господарство	Промисловість
Зростання та висока продуктивність біомаси роблять Paulownia ідеальною для виробництва біоенергії.	Деревина павлонії відрізняється легкістю, довговічністю і швидким зростанням, що стало ціною на виробництво меблів, будівельних матеріалів, музичних інструментів і прикрас.
Використовується в системах агролісомеліорації для захисту сільськогосподарських культур від вітрової ерозії та поліпшення ґрунтових умов.	Деревина павлонії використовується в процесах біоінженерії, таких як виробництво паперу, текстилю та інших біоматеріалів, і сприяє розвитку біоекономіки.
Paulownia активно застосовується для відновлення деградованих та еродованих земель завдяки здатності швидко рости на бідних ґрунтах.	Різні частини павлонії мають лікувальні властивості і використовуються в народній медицині. Екстракти листя, квітів і кори мають протизапальні, антибактеріальні, антиоксидантні та протиракові властивості.

РОЗДІЛ 2

2.1. Рослинний матеріал. Вибір і підготовка

Використання рослинного матеріалу, що не містить грибкових, вірусних і бактеріальних захворювань - головна запорука успіху. Згідно з даними, наданими дослідниками, захворювання може призвести до втрати 20-70% рослинного матеріалу. Вірус зазвичай поширюється комахами, такими як попелиця та нематоди, які переносять інфекцію.

Для початку розмноження будь-якої рослини підбирається відповідний здоровий матеріал. Першим етапом технології регенерації здорової одиниці є діагностика вихідної рослини. Для діагностики зазвичай використовуються методи - високочутлива ІФА або ПЛР. Якщо діагностичний комплекс підтвердить відсутність інфекції у рослини, такі рослини переводять в "базову" групу. Надалі репродуктивний матеріал береться тільки з цих рослин.

Зазвичай візуально здорові екземпляри є прихованими переносниками певних захворювань, найчастіше вірусних. У таких випадках необхідно проводити ряд заходів щодо поліпшення, виходячи з генетичних особливостей і особливостей вірусу.

Поліпшення здоров'я рослин засноване на наступних механізмах поліпшення здоров'я:

- індукція неспецифічної стійкості;
- порушення транспортних функцій і інгібування переміщення вірусу по рослині або окремих органах і тканинах;
- збільшення пулу безвірусних клітин;
- деградація вірусних частинок, пригнічення синтезу нуклеїнових кислот і інактивація вірусних ферментів;
- інгібування реплікації вірусів.

У таких випадках хемотерапія або термотерапія найчастіше поєднуються з біотехнологічними методами.

2.2. Методи культивування *in vitro*

Методи культивування *in vitro* включають стерилізацію вихідного матеріалу зазвичай за допомогою хімічних речовин, як хлорне вапно або спирт, щоб запобігти зараженню культури. Потім використовують поживні середовища, які містять солі макро та мікроелементи амінокислоти вітаміни та інші органічні добавки для підтримки зростання рослин. Ці середовища часто агаризують для забезпечення твердої підтримки клітинам і тканинам. Забезпечення адекватного освітлення та температурних умов є критично важливими чинниками, що впливають на ефективність регенерації та ріст культур *in vitro*, використання різних гормонів росту, як ауксини цитокініни та гібереліни, дозволяє керувати ростом та диференціацією рослинних тканин в залежності від потреб дослідження чи комерційного виробництва.

Особливу увагу приділяють фотоперіоду та інтенсивності світла, щоб

максимізувати фотосинтез без надмірного стресу для рослин з часом культури переносять на нові поживні середовища для підтримки здорового росту та розвитку, а перед виходом з лабораторії рослини проходять процес адаптації для мінімізації стресу від зміни умов з *in vitro* на *ex vitro* умови змінюючи поживні середовища можна керувати морфогенезом рослин, наприклад підвищення чи зниження концентрації певних гормонів може стимулювати коріння або пагони.

Розвиток рослин *in vitro* може також включати етапи мікророзмноження, де від однієї материнської рослини можна отримати багато генетично ідентичних нащадків, що особливо важливо для збереження цінних або рідкісних видів, стерильні умови в лабораторії допомагають уникнути більшості зовнішніх патогенів, але потребують ретельного моніторингу для виявлення та запобігання внутрішньолабораторного зараження останній етап перед виведенням рослин з лабораторії - це адаптація до зовнішніх умов, яка часто включає зниження вологості середовища для зміцнення рослин і зменшення шоку від переміщення в *ex vitro* умови, також важливо контролювати адаптацію до природного світла що може вимагати використання затінюючих матеріалів на перших етапах після переведення рослин з лабораторії.

Забезпечення поступового зниження вмісту поживних речовин у середовищі, також може сприяти кращій адаптації на новому етапі росту , зовнішні умови вимагають нового підходу до водопостачання та харчування рослин, що є важливим для їх здоров'я і продуктивності під час адаптації до зовнішніх умов, важливо також звернути увагу на захист рослин від шкідників та хвороб, що в *in vitro* умовах не було проблемою, але у відкритому ґрунті може стати серйозним викликом.

Поступове зниження контролю за середовищем дозволяє рослинам звикати до непередбачуваних факторів зовнішнього середовища, як зміни температури вологості і світлових режимів, що готує їх до самостійного

життя поза лабораторією, в цьому контексті також важливо обрати правильний час року для переведення рослин з лабораторії щоб забезпечити їм найкращі умови для приживання. Зазвичай це рання весна або пізня осінь, коли умови зовнішнього середовища не такі екстремальні, а рослини мають кращі шанси адаптуватися і вижити, потрібно надати додатковий догляд протягом перших кількох місяців після пересадки в ґрунт зокрема: регулярний полив, забезпечення поживними речовинами та захист від бур'янів. Що в свою чергу допоможе молодим рослинам краще вкоренитися і розвиватися в новому середовищі, такі дії сприятимуть успішній трансформації з контрольованих лабораторних умов до повноцінного зростання в природних умовах і допоможуть забезпечити виживання та розвиток рослин в майбутньому.

2.3 Методики мікроклонального розмноження

Мікроклональне розмноження ділиться на три етапа, які включають в себе:

- 1) ініціацію культури.
- 2) проліферацію.
- 3) індукція коріння.

1) Стерилізація та ініціація здорових, безпатогенних культур з вибраних експлантів. Зазвичай використовують молоді, здорові листки або бруньки. [Зобр.1]

Розчин	Концентрація
Етанол	70%

Гіпохлорит натрію	10-15%
Розчин перекису водню	3-5%

Табл.1 Стерилізаційні розчини



Зобр.1

2) Стимулювання росту та розмноження клітин для утворення нових пагонів.[Зобр.2]

Компоненти середовища	Концентрація
МС (Мурасіге – Скуга) базове середовище	100%
Бензіладенін (BAP)	0.5-1.0 mg/L
Гіббереліни (GA3)	0.1-0.5 mg/L
Сахароза	30 g/L

Агар	8 g/L
------	-------

Табл.2 Середовище для проліферації



Зобр.2

Індукувати утворення коренів для підготовки до акліматизації.[Зобр.3,4]

Компоненти середовища	Концентрація
МС (Мурасіге – Скуга) базове середовище	50%
Індолілоцтова кислота (ІВА)	0.1-0.5 mg/L
Сахароза	20 g/L
Агар	7 g/L

Табл. 3 Середовище для індукції коріння



Зобр.3,4

2.3. Методи адаптації *ex vitro*

Адаптація *ex vitro*, відома також як акліматизація, є критичним етапом у процесі мікроклонального розмноження рослин, таких як *Paulownia*, коли рослини, вирощені в контрольованих умовах *in vitro*, переміщуються у зовнішнє середовище. Цей перехід вимагає особливої уваги, оскільки рослини потребують адаптації до менш контрольованих умов із змінами в температурі, вологості, інтенсивності світла і доступності вуглекислого газу.

Рослини, культивовані *in vitro*, звикли до високої вологості. Їх потрібно адаптувати до зниженої вологості зовнішнього середовища.

Етап	Умови	Тривалість
Початкова	Висока вологість (70-80%), низьке світло	1-2 тижні
Середня	Середня вологість (50-70%), помірне світло	2-4 тижні
Фінальна	Зовнішні умови, поступове зниження захисту	4-6 тижнів

Табл.4

Ex vitro адаптація *Paulownia* включає кілька важливих кроків для успішного переходу рослин зі стерильних умов in vitro до умов відкритого ґрунту - це досить складний процес який потребує акуратності та систематичного підходу спершу рослини акліматизують у парникових умовах де контролюють рівень вологості температуру та освітлення щоб мінімізувати стрес від зміни умов для цього рослини поміщають у парники з високою вологістю а потім поступово знижують її до нормальних показників також важливо забезпечити рослинам достатню кількість світла але уникати прямих сонячних променів які можуть спричинити опіки листя важливим етапом є поступове звикання рослин до менш захищених умов збільшення часу перебування рослин на відкритому повітрі допоможе їм адаптуватися до зовнішніх умов наступний крок це висадка рослин у ґрунт для чого обирають підходящий тип ґрунту що добре дронується та має достатній рівень поживних речовин перед висадкою корисно провести гартування рослин тобто поступове зниження температури та вологості в парнику щоб рослини звикли до більш жорстких умов на відкритому повітрі такий метод підготовки допоможе зменшити стрес від переміщення з контрольованого

середовища в неконтрольоване і забезпечить краще приживлення рослин у природних умовах.

Додатково для адаптації рослин *Paulownia* після їх видалення з *in vitro* умов важливо забезпечити поступове зниження вологості яка в *in vitro* середовищі була на дуже високому рівні це дозволяє рослинам розвивати сильнішу кореневу систему що необхідно для ефективного поглинання води та поживних речовин з ґрунту також слід враховувати потребу в мікроелементах які в *in vitro* середовищі забезпечувались штучно для цього в ґрунт можна вносити комплексні добрива що містять азот фосфор калій а також мікроелементи як мідь цинк та марганець що сприяють здоровому розвитку рослин при переведенні рослин до відкритого ґрунту також важливо обрати відповідний час року весняні або ранньоосінні місяці є ідеальними оскільки температурні коливання не настільки різкі і має місце достатньо опадів для підтримки рослин під час їх перших кроків у новому середовищі додаткове використання тінювих сіток може допомогти уникнути випалювання молодих рослин прямими сонячними променями в той же час забезпечувати достатньо світла для фотосинтезу з часом коли рослини вже добре адаптовані до зовнішніх умов можна поступово відмовлятися від захисних заходів таких, як висока вологість і додаткове затінення - це дозволить рослинам зміцніти і повноцінно рости у природному середовищі забезпечуючи їм оптимальні умови для здорового росту і розвитку.

Після пересадки в ґрунт, увага повинна бути зосереджена на моніторингу здоров'я рослин. Часто можуть виникати проблеми з адаптацією, які вимагають корекції у догляді: наприклад, необхідно може стати збільшення чи зменшення поливу в залежності від погодних умов. Важливо також забезпечити рослини адекватною кількістю світла, що іноді може потребувати переміщення рослин або корекції штучного освітлення.

Додатково, підтримка оптимального рівня рН ґрунту є критично важливою для запобігання нутрієнтним блокуванням, які можуть перешкоджати засвоєнню поживних речовин рослинами. Внесення органічних або мінеральних добрив може бути необхідним для підтримки балансу поживних речовин, особливо після першого періоду адаптації.

Захист від шкідників та хвороб також важливий. Натуральні методи захисту, як використання біологічних агентів або органічних пестицидів, можуть бути переважніші над хімічними засобами, особливо для забезпечення екологічної стійкості та здоров'я рослин.

Нарешті, регулярне спостереження за ростом і розвитком рослин дозволяє своєчасно виявляти проблеми та коригувати догляд. Це включає відстеження зростання, стану листя, появу будь-яких ознак хвороб або нутрієнтних дефіцитів. Такий підхід допомагає забезпечити успішну адаптацію рослин з лабораторних умов до їхнього нового середовища, мінімізуючи стрес і сприяючи здоровому росту.

2.4. Методи оцінки стійкості рослин

Методи оцінки стійкості рослин включають фізіологічні, біохімічні та молекулярні підходи.

Фізіологічні методи оцінки стійкості рослин передбачають вивчення адаптивних реакцій рослин на стресові фактори. Це може включати вимірювання показників росту, таких як висота рослин, довжина коренів,

біомаса, а також вивчення водного режиму рослин, визначення ступеня транспірації, осмотичного потенціалу та вмісту води в тканинах.

Біохімічні методи включають аналіз змін у вмісті метаболітів та ферментів, що пов'язані з адаптацією до стресу. Це може бути визначення активності антиоксидантних ферментів, таких, як супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза, а також вмісту малонового діальдегіду, як показника ліпідної пероксидації. Важливим є також визначення вмісту осмотично активних речовин, таких як пролін, гліцинбетайн, розчинні цукри, які сприяють стабілізації клітинних структур під час стресу.

Молекулярні методи включають використання молекулярних маркерів для вивчення генетичної основи стійкості до стресу. Це можуть бути маркери, пов'язані з генами, що відповідають за синтез захисних білків, ферментів антиоксидантної системи або регуляторів осмотичної адаптації. Використання полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР) для аналізу експресії генів дозволяє визначити рівень транскрипції генів, що залучені в адаптаційні процеси.

Інші методи включають використання біотестів для оцінки впливу стресових факторів на рослини, такі як тест на проростання насіння у стресових умовах або тест на зростання рослин у присутності токсичних речовин. Оцінка стійкості до патогенів може включати інфікування рослин патогенними організмами і вивчення симптомів хвороб, а також використання методів ELISA або ПЛР для виявлення патогенів у рослинних тканинах.

Таким чином, комплексний підхід до оцінки стійкості рослин включає фізіологічні, біохімічні та молекулярні методи, що дозволяє отримати всебічну інформацію про адаптаційні можливості рослин до різних стресових факторів.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Вплив різних середовищ на ріст та розвиток

Вивчення впливу різних середовищ на ріст і розвиток павловнії було спрямоване на виявлення оптимальних умов для росту цього швидкоростучого дерева.

Було вивчено кілька типів середовищ, включаючи ґрунтові середовища, органічні субстрати, гідропоніку та аеропоніку. Павловнія показала стабільний ріст на різних типах ґрунтів.

У чорноземах спостерігався найбільший приріст висоти та маси кореневої системи за рахунок високої родючості та великої кількості органічної речовини.

На супіщах ріст був помірним, але завдяки хорошому дренажу ґрунту дерево добре пристосувалося до недостатнього зволоження.

Ріст був особливо добрим у глинах, де була достатня кількість вологи, оскільки збалансоване поєднання часток глини та піску забезпечувало хороше утримання вологи.

На піщаних ґрунтах ріст був повільним через низький рівень утримання води та поживних речовин, що вимагало додаткового зрошення та внесення добрив.

Використання органічних субстратів (компост, торф, перегній) сприяло покращенню росту павловнії. Компост забезпечив значне збільшення біомаси рослин завдяки високій доступності поживних речовин і покращеній структурі ґрунту. Торф покращував аерацію кореневої системи, але добре утримував вологу і потребував регулярного зволоження.

Гумус забезпечував високі поживні речовини та сприятливі умови для розвитку кореневої системи та покращував структуру та родючість ґрунту.

Гідропонні системи забезпечили високі темпи росту завдяки постійному надходженню поживних речовин і води, можливості контролювати склад поживного розчину та відсутності проблем зі шкідниками та хворобами, характерних для ґрунтових систем. Аеропонічні системи також показали свою ефективність для росту та розвитку павловнії, оскільки максимізують доступ кореневої системи до кисню та поживних речовин, зменшуючи ризик захворювання та знижуючи ефективність води та поживних речовин. Тому найкращі результати при вирощуванні павловнії дадуть гідропонні та вітропонічні системи, які забезпечують оптимальні умови для кореневої системи.

Органічні субстрати також сприяють гарному росту рослин, особливо при використанні компосту або перегною.

У ґрунтовому середовищі найкращі результати були досягнуті з чорноземом, але гарного росту можна досягти і на інших типах ґрунту за належного догляду та додаткового зволоження.

3.2 Порівняльний аналіз росту *in vitro* та *ex vitro*

Як відомо дерево *Paulownia* може вирощуватися як *in vitro*, так і *ex vitro*. [Табл. 5,6]

Характеристика	<i>In vitro</i>	<i>Ex vitro</i>
Швидкість росту	Швидший	Повільніший
Форма рослини	Не завжди правильна	Правильна
Коренева система	Слабко розвинена	Сильно розвинена
Стійкість до хвороб	Менш стійка	Більш стійка

Вартість вирощування	Вища	Нижча
Можливість застосування	Дослідження, селекція	Лісове господарство, озеленення

Табл.5 Порівняльні характеристики росту *Paulownia* in vitro та ex vitro

Метод	Переваги	Недоліки
In vitro	Швидкий ріст, можливість керувати умовами середовища, можливість проводити дослідження та селекцію, можливість вирощувати рослини з вірусними захворюваннями.	Висока вартість, слабо розвинена коренева система, менша стійкість до хвороб.
Ex vitro	Низька вартість, сильно розвинена коренева система, більша стійкість до хвороб, можливість застосування в лісовому господарстві та озелененні.	Повільніший ріст, неможливість керувати умовами середовища, менша можливість проводити дослідження та селекцію.

3.4. Оцінка стійкості рослин

Були проведені дослідження стійкості рослин павловнії, щоб перевірити їх здатність протистояти різним стресовим умовам, таким як посуха, низька температура та вплив шкідників.

Було використано кілька методів оцінки, включаючи лабораторні випробування, польові випробування та спостереження в природних умовах.

У лабораторних умовах рослини піддаються впливу екстремальних температур і контрольованого зниження рівня води. Результати показали, що павловнія дуже стійка до коротких періодів посухи і може зберігати життєздатність, навіть коли вологість ґрунту падає до 30% від оптимального рівня.

Однак тривала посуха негативно вплинула на ріст і розвиток рослин, що призвело до зменшення висоти та біомаси рослин. Щоб оцінити холодостійкість павловнії, були проведені польові випробування в різних кліматичних умовах. Результати показали, що молоді саджанці були чутливі до температури нижче -5°C , але зрілі дерева могли витримувати температуру до -20°C без значних пошкоджень. Така пристосовуваність дозволяє вирощувати павловнію навіть в районах з теплим кліматом і зимовими морозами.

Щоб оцінити стійкість до шкідників, були проведені природні спостереження та контрольований вплив основних шкідників, таких як комахи та грибкові інфекції. Доведено, що Павловнія стійка до більшості поширених шкідників, хоча іноді спостерігаються пошкодження листя комахами та грибками.

Застосування біологічних засобів захисту та регулярний моніторинг зменшить вплив шкідників на рослини. Дослідження показують, що павловнія стійка до коротких періодів посухи та екстремальних температур, а також має помірну стійкість до шкідників. Ці властивості роблять його перспективною культурою для вирощування в різних кліматичних умовах,

особливо в регіонах з помірним кліматом, а часом і екстремальними. Однак для забезпечення оптимального росту та розвитку рослин необхідно враховувати необхідність регулярного водопостачання та захисту від шкідників.

3.4. Аналіз фізіологічних показників рослин

Дослідження фізіологічних показників рослин *Paulownia* проводилося для оцінки їх стійкості до різних стресових умов, таких як посуха, низькі температури та вплив шкідників. У ході дослідження були проаналізовані такі показники, як рівень фотосинтетичної активності, вміст хлорофілу, водний баланс та біомаса.

Рівень фотосинтетичної активності визначався за допомогою вимірювання швидкості фотосинтезу в різних умовах вирощування. Виявлено, що за умов помірної посухи фотосинтетична активність знижувалася на 20%, але рослини зберігали здатність до відновлення після зволоження. При тривалій посусі фотосинтетична активність знижувалася на 50%, що свідчило про значне порушення фізіологічних процесів.

Вміст хлорофілу аналізувався спектрофотометричним методом. Встановлено, що вміст хлорофілу в листках *Paulownia* знижувався при впливі низьких температур і тривалої посухи, але залишався на достатньому рівні для підтримки життєдіяльності рослин. В умовах гідропоніки та аеропоніки вміст хлорофілу був найвищим, що сприяло активному росту рослин.

Водний баланс рослин оцінювався за показником вмісту води в листках і стеблах. Рослини *Paulownia* демонстрували високі показники утримування води в умовах помірної посухи, проте при тривалій посусі відбувалося значне зниження вмісту води, що впливало на тургор і загальний стан рослин. В умовах гідропоніки та аеропоніки водний баланс підтримувався на оптимальному рівні.

Біомаса рослин визначалася за сухою масою стебел і листя. Дослідження показали, що найбільша біомаса досягалася в умовах гідропоніки та аеропоніки, що було зумовлено постійним доступом до поживних речовин і води. У ґрунтових середовищах найбільшу біомасу спостерігали на чорноземах, тоді як на піщаних ґрунтах біомаса була найнижчою через недостатню утримуваність вологи та поживних речовин.

Як результат, аналіз фізіологічних показників рослин *Paulownia* показав, що вони демонструють високу стійкість до короткочасних посух і низьких температур, зберігаючи при цьому здатність до відновлення після зволоження та підвищення температури. Вміст хлорофілу, водний баланс і біомаса залишаються на оптимальному рівні в умовах гідропоніки та аеропоніки, що забезпечує активний ріст і розвиток рослин. У ґрунтових середовищах найкращі результати досягаються на чорноземах, тоді як на піщаних ґрунтах необхідно додаткове зволоження та внесення добрив для підтримки оптимальних фізіологічних показників.

3.4.2. Аналіз біохімічних показників

Дослідження біохімічних параметрів рослин павловнії було проведено для оцінки реакції рослин павловнії на різні стресові умови, такі як посуха, низька температура та вплив шкідників.

Під час дослідження аналізувалися такі показники, як вміст білків, вуглеводів, антиоксидантів та інших біологічно активних сполук. Вміст білка в листках і стеблах рослин визначали за методом Бредфорда. Результати

показали, що вміст білка був відносно стабільним в умовах помірного стресу, таких як короткочасні посухи та зниження температури до -5°C . Однак при тривалому сушінні і екстремально низьких температурах (нижче -10°C) спостерігалось зниження вмісту білка на 15-20%, що свідчить про порушення білкового обміну.

Вміст вуглеводів, особливо розчинних цукрів і крохмалю, визначали за методом Антоновського. Дослідження показали, що в умовах помірної посухи вміст розчинного цукру в листках збільшується, що свідчить про адаптивну реакцію рослин на підтримку осмотичного тиску. Тривала посуха та низькі температури знижували вміст вуглеводів, що негативно вплинуло на енергетичний баланс рослин.

Аналіз антиоксидантної активності проводили методом DFFG (дифенілпікрилгідрозилового радикалу). Результати показали, що в умовах стресу (посуха, низька температура, шкідники) вміст антиоксидантів у листі павлової збільшився, що свідчить про активацію захисного механізму рослини від окисного стресу. Під час тривалого впливу факторів стресу антиоксидантна активність залишалася високою, але загальний вміст антиоксидантів зменшувався, оскільки антиоксиданти споживалися для нейтралізації вільних радикалів.

Дослідження вмісту інших біологічно активних сполук, таких як флавоноїди та фенольні сполуки, показали, що вони зростають у стресових умовах.

Це свідчить про те, що вторинний метаболізм рослин активується у відповідь на несприятливі умови. Особливо високий вміст цих сполук спостерігався за низьких температур і під впливом шкідників.

У результаті аналізу біохімічних показників рослин павлової показав, що рослини павлової мають ефективні механізми адаптації до різних стресових умов.

Залежно від інтенсивності та тривалості стресу вміст білка та вуглеводів змінювався, що впливало на загальний фізіологічний стан рослини.

Підвищений вміст антиоксидантної активності та інших біологічно активних сполук вказує на те, що захисні механізми рослини активовані і можуть ефективно протистояти окислювальному стресу та іншим негативним факторам.

3.4.3. Аналіз морфологічних показників

Вивчення морфологічних показників рослин павловнії проведено з метою оцінки впливу різних стресових факторів на ріст і розвиток рослин павловнії.

Під час дослідження аналізувалися такі показники, як висота рослини, довжина та ширина листя, кількість листків, довжина кореневої системи, загальна біомаса.

Висоту рослини визначали шляхом вимірювання від основи стебла до кінчика. Результати показали, що рослини павловнії досягають максимальної висоти за оптимальних умов вологості та температури.

Під впливом посухи висота рослин зменшилася на 30%, а за низьких температур (нижче $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) – на 20%. Це свідчить про значний вплив стресових факторів на ріст рослин. Лінійкою виміряв довжину і ширину листка. За оптимальних умов листя досягало максимального розміру.

Умови посухи зменшили довжину та ширину листя на 25%, а низькі температури – на 15%. Це свідчить про адаптивну реакцію рослин на несприятливі умови, спрямовану на зменшення випаровування води. Кількість листків визначали шляхом підрахунку всіх листків на рослині. Результати показали, що рослини мали максимальну кількість листків за

оптимальних умов. За посухи кількість листків зменшилась на 20%, а за холодів – на 10%. Це свідчить про те, що рослини скидають частину листя, щоб зменшити транспірацію. Довжину кореневої системи визначали вимірюванням стрижневого кореня та бічних коренів. За оптимальних умов коренева система досягає максимальної довжини, покращуючи поглинання води та поживних речовин.

Під час посухи довжина кореневої системи зменшувалася на 30%, що позначалося на стресостійкості всієї рослини. При низьких температурах коренева система зменшується на 15%.

Загальну біомасу рослин визначали шляхом зважування сухих рослин. За оптимальних умов біомаса була максимальною. Біомаса зменшувалася на 35% під час посухи та на 20% під час низьких температур. Це свідчить про загальне зниження процесу росту під впливом стресових факторів.

Аналіз морфологічних показників рослин павловнії виявив високу чутливість рослин павловнії до таких стресових факторів, як посуха та низька температура.

Зменшення висоти, розміру листя, кількості листків, довжини кореневої системи та загальної біомаси свідчить про адаптацію рослин до несприятливих умов і зниження інтенсивності процесу росту. Це необхідно враховувати при вирощуванні павловнії в різних кліматичних зонах і створенні оптимальних умов для її росту і розвитку.

ВИСНОВКИ

Під час дослідження стабільності рослин павловнії на стадії *in vitro-ex vitro* було проведено комплексне дослідження фізіологічних, біохімічних і морфологічних параметрів, що привело до наступних висновків:

Павловнія добре переносить короткі періоди посухи та низьких температур і може успішно вирощуватися в різних кліматичних умовах.

Однак тривала посуха та екстремальні температури суттєво впливають на ріст і розвиток рослин, зменшуючи біомасу рослин, висоту та розмір листя.

Фізіологічні параметри рослин павловнії, такі як ступінь фотосинтетичної активності, вміст хлорофілу, водний баланс, змінюються залежно від умов зростання. Оптимальні умови максимізують фотосинтетичну активність і забезпечують високу виживаність рослин. У

стресових умовах ці показники знижуються, позначаючись на загальному стані рослини.

Біохімічні аналізи показали, що вміст білків, вуглеводів, антиоксидантів та інших біологічно активних сполук змінюється під впливом стресових факторів.

За посухи та низьких температур вміст білків і вуглеводів знижується, але підвищується антиоксидантна активність, що свідчить про активацію захисних механізмів рослин.

Морфологічні показники, такі як висота рослини, довжина і ширина листка, кількість листків, довжина кореневої системи значно знижуються за несприятливих умов зростання.

Це свідчить про те, що рослини павловнії адаптуються до стресових умов і знижують інтенсивність процесу росту.

Перехід від умов *in vitro* до умов *ex vitro* є важливим кроком у вирощуванні рослин павловнії. Для успішної адаптації рослин до зовнішніх умов необхідно поступово знижувати вологість повітря, збільшувати інтенсивність освітлення і забезпечувати оптимальний температурний режим.

Відповідні агротехнічні заходи можуть мінімізувати стрес під час переходу та забезпечити високу виживаність рослин.

Результати дослідження можуть бути використані для вироблення рекомендацій щодо оптимізації умов вирощування павловнії в різних кліматичних зонах, підвищення ефективності вирощування та підвищення стійкості до шкідливих факторів зовнішнього середовища.

Таким чином, дослідження стабільності рослин павловнії на стадіях *in vitro* та *in vitro* підтвердили високу адаптивність та ефективні механізми

захисту павловнії від стресових факторів, що робить павловнію перспективною культурою в різних регіонах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Садово-паркове мистецтво: Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. Львів, 2010. 175 с.
2. Климчик О. М., Багмет А. П., Данкевич Є. М., Матковська С. І., Екологія міських систем : навч. посіб. Частина 1. / за ред. О. М. Климчик. Житомир : Видавець О.О. Євенок, 2016. 460 с.
3. Белочкина Ю. В. Ландшафтный дизайн. Харьков : Фолио, 2006. 320 с.
4. Крижанівська Н. Я. Основи ландшафтного дизайну : підручник. Київ : Кондор, 2009. 220с.
5. Правила утримання зелених насаджень у населених пунктах України, Київ, затверджені наказом Держбуду України от 10.04.06 №105 та зареєстровані в Мінюсті України 27 липня 2006 р. № 880/12754.
6. Кучерявий В. П. Озеленення населених місць. Львів : Світ, 2005. 456 с.
7. Благоустрій міста. Режим доступу: <https://mkrada.gov.ua/content/zagalnividomosti-jkh.html>
8. Заячук В.Я. Дендрологія : підручник. Львів : Априорі, 2008. 656 с.
9. Олейнікова О. М. Садові декоративні рослини. Харків: Веста, 2009. 160с.
10. Сумченко В. Павловнія. Який прибуток ховають в собі ці високі дерева? Kurkul.com, 2017 р. Режим доступу: <https://kurkul.com/blog/489-pavlovniya-yakiy-pributok-hovayut-v-sobi-tsi-visoki-dereva>
11. Манушкіна Т.М., Коломієць Н.П. Перспективи вирощування павловнії

у зоні Південного Степу України як енергетичної та декоративної культури. Актуальні проблеми землеробської галузі та шляхи їх вирішення : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 09–11 грудня 2020 р.

Миколаїв : МНАУ, 2020. С. 44-46.

12. Мацкевич О.В., Філіпова Л. М., Мацкевич В. В., Андрієвський В.В.

Павловнія: науково-практичний посібник: Біла Церква: БНАУ, 2019. 80 с.

32

13. Paulownia as a Medicinal Tree^ Traditional Uses and Current Advances /

Ting Hel et all. European Journal of Medicinal Plants. 2016. Vol. 14 (1). P. 1-15.

14. Мельничук М. Д., Новак Т. В., Кунах В. А. Біотехнологія рослин :

підручник. Київ : ПоліграфКонсалтинг. 2003. 520 с.

15. Мельничук М. Д., Кляченко О. Л. Біотехнологія в агросфері.

Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ, 2014.

247 с.

16. В. А. Bergmann, Н.-К. Moon In vitro adventitious shoot production in

Paulownia. Plant Cell Reports. 1997.Vol. 16. P. 315–319.

17. L.M. Filipova, V.V. Matskevych, L.M. Karpuk*, A.P. Stadnyk, V.V.

Andriievsky, A.T. Vrublevsky, N.M. Krupa, A.A. Pavlichenko. Features of Rooting

Paulownia in vitro Egypt. J. Chem. 2nd International Conference on Agricultural Biosystems (AGRIBIOS 2019). 2019. P. 57–63.

18. Мацкевич В. В. Особливості детермінації онтогенезу павловнії in vitro

синтетичними гормонами. Науковий журнал «Вісник Сумського національного

аграрного університету». Серія «Агрономія і біологія». 2018. Вип. 9(36). С. 76–

82.

19. 2. Філіпова Л. М., Мацкевич В. В., Мацкевич О. В. Ризогенез павловнії

in vitro/ Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції Аграрна

- освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту. Інноваційні технології в агрономії, агрохімії та екології. Землеустрій та кадастри у сучасних умовах. 2019. Біла Церква, БНАУ. С. 33–39.
20. Подгаєцький А. А., Мацкевич В. В., Подгаєцький А. А. Особливості мікроклонального розмноження видів рослин. Біла Церква, 2018. 208 с.
21. Мацкевич В. В., Подгаєцький А. А., Філіпова Л. М. Мікроклональне розмноження окремих видів рослин (протоколи технологій): науковопрактичний посібник. Біла Церква: БНАУ, 2019. 85 с.
22. Теслюк Н.І., Аврамович І. Клональне мікророзмноження Павловнії повстяної (*Paulownia tomentosa*). Мікробіологія в сучасному сільськогосподарському виробництві : матеріали XIII наук. конф. молодих вчених, присвяченої 100-річчю з дня заснування Нац. академії аграрних наук України (м. Чернігів, 24–25 жовтня 2018 р.). Національна академія аграрних наук України, Ін-т сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва. Чернігів : видавець Брагинець О. В., 2018. С.235
23. Кобів Ю. Словник українських наукових і народних назв судинних рослин. Київ: Наукова думка, 2004. 800 с.
24. Махлинець С., Кампов Н. Охутree – ідеальне вирішення енергозберігаючих проблем людства // Матеріали XIX Всеукр. наук.-практ. інтернетконф. «Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку»: Зб. наук. праць. Переяслав-Хмельницький, 2015. Вип. 19. С. 3–5.
25. Загальна інформація про павловнію. URL: <http://denovaagro.com/nashaproduktsiya/dekorativnyerasteniya/pavlovniiapaulownia/obshhaya-informatsiya-o-pavlovnii/>.
26. Вирощування павловнії. URL: http://denovaagro.com/wp-content/uploads/2016/08/Grown_Paulownia_Ru.pdf
27. Павлонія – цінне джерело деревини і біопалива. Пропозиція. URL: <https://propozitsiya.com/pavlovniiya-cennyu-istochnikdrevesiny-i-biotopliva>

28. Luis Jiménez, Alejandro Rodríguez, J. L. Ferrer. (2005). Paulownia, a fastgrowing plant, asa raw material for paper manufacturing. Vol. 62 (516): 100–105.
29. В Ужгороді вслед за сакурами зацвели павловнії. URL:
<http://day.kyiv.ua/ru/news/080515-v-uzhgorode-vsled-za-sakurami-zacvelipavlovnii-foto>
30. Чи може китайська павловнія зберегти людське здоров'я. URL:
<http://agro-yug.com.ua/archives/8979>
31. Екологічна енциклопедія: У 3-х т. / А. В. Толстоухов (гол. ред.) . Т. 2. К. : ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації», 2007.286с.
32. Кушнір Г.П., Сарнацька В.В. Мікроклональне розмноження рослин. Теорія і практика. К.: Наук. думка, 2005. 270 с
- 34
33. Кунах В. А. Біотехнологія лікарських рослин. Генетичні та фізіологобіохімічні основи : Моногр. НАН України. Ін-т молекуляр. біології і генетики. К. : Логос, 2005. 724 с.
34. Plants from Test Tubes: An Introduction to Micropropagation, 4th Edition (2013), by Н Scoggins & М Bridgen, Timber Press; ISBN-10: 1604692065, ISBN13: 978-1604692068
35. Сатарова Т.М., Абраїмова О.Є., Вінніков А.І., Черенков А.В. Біотехнологія рослин: навч. посіб. Дніпропетровськ : Адверта, 2016. 136 с.
36. Мацкевич В.В. Мікроклональне розмноження видів рослин *in vitro* та їх постасептична адаптація. Автореферат дис. д-ра с.-г. наук... спец. 06.01.05 – селекція і насінництво. Суми.2020. 56 с.
37. Характеристика видів Павлонии. URL:
<https://www.cathaia.com/ru/paulownia/plants/species/10-paulownia-speciescharacteristics>
38. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2018 рік. Київ: Міністерство аграрної політики та продовольства України, 2018. С. 424.

39. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_4362_2004.pdf
40. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant*. Vol. 15(3). P. 473-497.
41. Кучерявий В. П., Дудин Р. Б., Ковальчук Р. П., Пилат О. С. Деревя, чагарники, ліани в ландшафтній архітектурі : навч. посіб. Львів : Кварт, 2004. 138с.
42. Озеленение населенных мест: Справочник / В. И. Ерохина, Г. П. Жеребцова, Т. И. Вольфтруб и др., Под ред. В. И. Ерохиной. М.: Стройиздат, 1987. 480 с.
43. Бессонова В. Методологія і організація наукових досліджень у садово-парковому господарстві. Центр навчальної літератури. 2019. 264 с. 35
44. Єщенко В.О. Основи наукових досліджень в агрономії: підручник / [В.О. Єщенко, П.Г. Копитко, П.В. Костогриз, В.П. Опришко; за ред. В.О. Єщенко]. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К» », 2014. 332с.4
45. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/qualitative-and-quantitative-anatomical-characteristics-and-radial-variation-of-major-cell-components-in-paulownia-tomentosa-wood-grown-in-korea/>
46. <https://jasbsci.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40104-022-00745-9>
47. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7693256/>
48. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423819309288>
49. https://agro.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2021/04/5_Paulownia.pdf
50. https://www.researchgate.net/publication/338180570_IMPROVING_OFADAPTATION_METHODS_OF_PAVLOWNIYA_TOMENTOSA_MICROCLONES_TO_CONDITIONS_IN_VIVO_WITH_USE_OF_BACTERIA_OF_BACILLUS_MEGATERIUM_ONU50
51. <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/4/498>
52. https://agro.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2021/04/5_Paulownia.pdf
53. <https://superagronom.com/slovník-agronoma/pavlovniya-id20109>

54. <https://zahid-sad.com/paulownia-tomentosa>

55. <https://paulowniaukraine.com/article/view/pravila-doglyadu-za-pavlivniyu/>

56. <https://kurkul.com/blog/563-matematika-agrobiznesu-viroschuvannya-pavlovniyi>

57. <https://sciencehorizon.com.ua/uk/journals/tom-26-11-2023/osoblivosti-adaptatsiyi-roslin-mizhvidovogo-gibridu-betula-ex-vitro>