



УДК 581.146:635.21:631.531

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.14>

МІКРОКЛОНАЛЬНЕ РОЗМНОЖЕННЯ В КУЛЬТУРІ *IN VITRO*: МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ

А. М. Рибальченко¹, А. М. Криворучко²

*Метод мікроклонального розмноження є важливим біотехнологічним напрямом, який надає можливість здійснювати масове розмноження рослин в умовах *in vitro*. Цей метод відрізняється від звичайного насінневого або вегетативного розмноження рослин. Вирощування рослин в культурі *in vitro* забезпечує розмноження рослин, що дозволяє отримувати генетично однорідний і безвірусний посадковий матеріал. Він є ефективним для прискореного розмноження в значних обсягах особливо цінних генотипів, видів та сортів рослин, що є зникаючими, а також для розмноження рослин, відтворення яких в природних умовах насінневим і вегетативним шляхом є досить ускладнено.*

Використання методу мікроклонального розмноження у певних видів застосовують для прискореного розмноження на комерційній основі садивного матеріалу, оздоровленого від патогенів (вірусних, бактеріальних, грибних).

*У статті проаналізовано особливості мікроклонального розмноження рослин в умовах культури *in vitro*, вплив модифікації живильних середовищ для отримання рослин-регенерантів, які будуть придатними для використання в умовах *in vivo*. Виділено загальні етапи, що відбуваються під час мікроклонального розмноження рослин. Встановлено, що на процес мікроклонального розмноження рослин впливають генетичні, фізіологічні, гормональні, фізичні фактори. Встановлено, що мікроклональне розмноження рослин має переваги такі як, збереження генетичного різноманіття, одержання генетично однорідного матеріалу, незалежність від сезону та погоднокліматичних умов та можливість проводити розмноження протягом року, залучення мінімальної кількості вихідного матеріалу, виробництво садивного матеріалу для культур, що мають низькі коефіцієнти розмноження, отримання безвірусного садивного матеріалу.*

Ключові слова: мікроклональне розмноження, експлант, поживне середовище, фітогормони, садивний матеріал.

¹ кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри селекції, насінництва і генетики
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: anna.rybalchenko@pdau.edu.ua
ORCID: 0000-0002-2308-7853

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри селекції, насінництва і генетики
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: lyudmyla.kryvoruchko@pdau.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8263-0481

MICROCLONAL REPRODUCTION IN *IN VITRO* CULTURE: POSSIBILITIES AND ADVANTAGES OF USE

A. M. Rybalchenko, L. M. Kryvoruchko

The microclonal propagation method is an important biotechnological trend that makes it possible to carry out mass reproduction of plants in vitro. This method differs from conventional seed or vegetative propagation of plants. Growing plants in in vitro culture ensures plant propagation, which allows for the production of genetically homogeneous and virus-free planting material. It is effective for the accelerated reproduction of particularly valuable genotypes, species and varieties of endangered plants, as well as for the reproduction of plants that are difficult to reproduce in natural conditions by seed and vegetative means.

In certain species, the microclonal propagation method is used to accelerate the commercial propagation of planting material that has been treated for pathogens (viral, bacterial, fungal).

The article analyzes the peculiarities of microclonal propagation of plants in in vitro culture, the influence of modification of culture media to obtain regenerated plants suitable for use in vivo. The general stages that occur during microclonal propagation of plants are highlighted. It has been established that the process of microclonal propagation of plants is influenced by genetic, physiological, hormonal, and physical factors.

It has been established that microclonal plant propagation has the following advantages: preservation of genetic diversity, obtaining genetically homogeneous material, independence from season and weather and climatic conditions and the ability to reproduce throughout the year, involvement of a minimum amount of source material, production of planting material for crops with low reproduction rates, and obtaining virus-free planting material.

Key words: microclonal propagation, explant, culture medium, phytohormones, planting material.

Вступ

Альтернативою звичайним традиційним методам розмноження рослин є використання новітніх біотехнологій, серед яких провідна роль належить мікроклональному розмноженню. Біотехнологічні підходи використовуються для збереження, сприяння розмноженню та тиражуванню унікальних і цінних сільськогосподарських культур (Олійник та ін., 2016).

Здатність рослинної клітини реалізувати притаманну їй тотипотентність лежить в основі методу мікроклонального розмноження, який базується на використанні головних аспектів диференціації, розвитку клітин, культивуванні тканин, органів рослинного матеріалу на штучно створених живильних середовищах в контрольованих асептичних умовах.

Методику розмноження рослин в культуральних умовах було розроблено французьким дослідником Ж. Морелем. Він проводив свої дослідження на орідеях та отримав перші рослини-регенеранти (Кунах, 2005).

Мікроклональне розмноження – це інноваційний біотехнологічний метод, який набуває все більшої популярності в сільському господарстві та передбачає розмноження рослин за допомогою окремих клітин, тканин або органів у стерильних умовах *in vitro*. Цей метод відрізняється від

звичайного насіннєвого або вегетативного розмноження рослин. Вирощування рослин *in vitro* – сучасний метод розмноження рослин, що дозволяє отримувати генетично однорідний і безвірусний посадковий матеріал (Мельничук та ін., 2003).

Великі обсяги неконтрольованої торгівлі садивним матеріалом сприяють розширенню видового складу збудників хвороб і шкідників. Це також спричинює поширення вірусних захворювань, що може становити загрозу в майбутньому. Одним із варіантів рішення проблеми оздоровлення садивного матеріалу від патогенів рослин є методи мікроклонального розмноження *in vitro* (Лавриненко та ін., 2016).

Метою дослідження було визначити основні етапи процесу мікроклонального розмноження та фактори, що впливають на його перебіг, а також узагальнити основні переваги мікроклонального розмноження на основі аналізу літературних джерел.

Матеріал і методи

Для реалізації мети дослідження використовувалася вітчизняна та іноземна література провідних науковців у галузі біотехнології рослин, зокрема, мікроклонального розмноження рослин.

Результати та обговорення

Мікроклональне розмноження проводиться в стерильних умовах, що зни-

жує ризик поширення хвороб та шкідників з материнських рослин на потомство. Завдяки цьому методу, рослини-потомки можуть рости здоровими та міцними, що сприяє збільшенню продуктивності та зниженню витрат на захист рослин від шкідників і хвороб (Lohar, 2019).

Мікроклональне розмноження гарантує високий рівень генетичної однорідності потомства, що дозволяє підтримувати і поширювати бажані характеристики сорту, зокрема, такі як стійкість до хвороб, висока продуктивність та якість. Метод дозволяє отримувати значну кількість рослин-потомків від одного рослинного матеріалу за короткий проміжок часу. Цей метод розмноження не залежить від сезону, а тому може здійснюватися протягом усього року, що дозволяє забезпечити стабільне постачання рослинного матеріалу (Войтовська та ін., 2023).

В Україні на теперішній час метод мікроклонального розмноження досить активно застосовують у галузі картоплярства, де він базується на індукованому регуляторами росту (цитокінінами) розростанні верхівкових, а також пазушних меристем, котрі дають початок великій кількості пагонів. Згодом їх мікроживцюють та субкультивують на свіжі поживні середовища, даний процес декілька разів повторюють. Таким чином, лише з однієї бруньки можливо отримати сотні тисяч рослин за рік (Лавриненко та ін., 2017).

Мікроклональне розмноження надає можливість отримувати значну кількість

рослин з мінімальними витратами насіння, добрив, води. Скорочення витрат на засоби захисту рослин також є важливим фактором економії ресурсів (рис. 1).

Використання методу клонального мікророзмноження *in vitro* надає можливість збільшити коефіцієнти розмноження, а також пришвидшити селекційний процес внаслідок розмноження цінних генотипів. Клональне мікророзмноження є ефективним способом оздоровлення садивного матеріалу від вірусної інфекції, шкодочинність якої може досягати 50%. Метод мікроклонального розмноження зумовлює активацію розвитку існуючих меристем у рослині та усуненні явища апікального домінування (Івченко та ін., 2018).

Метод мікроклонального розмноження досить поширений для швидкого розмноження та виробництва ягідних (суниця, малини, ожини, лохини) та плодових культур (алича, слива, персик) (Подгаєцький та ін., 2018).

При культивуванні ізолюваних рослинних експлантів потрібно дотримуватися технологічних прийомів, які за послідовністю виконання, поділяють на чотири етапи:

I етап – Відбір експланта, введення його в культуру *in vitro* й ініціація розвитку. На цьому етапі здійснюють вибір рослин культурварів, найбільш вдалі типи первинних експлантів, визначають режим їх стерилізації.

II етап – Власне мікророзмноження. Цей етап передбачає підбір оптимального живильного середовища для росту та розвитку експлантів в культурі *in vitro*.



Рис. 1. Переваги мікроклонального розмноження рослин

Активізація розвитку меристем з відібраних експлантів.

III етап – Укорінення рослин.

IV етап – Адаптація біоматеріалу до умов *in vivo*. Перенесення рослин із стерильних умов *in vitro* в природні умови для подальшого вирощування.

Виділяють ряд факторів, що впливають на процес мікроклонального розмноження рослин.

Генетичні фактори. Одним з найбільш суттєвих факторів є добір материнської рослини з врахуванням її сортових та видових особливостей, а також тип експланту. На ефективність використання матеріалу, що розмножили, впливає правильність відбору вихідного матеріалу для наступної ізоляції експлантів.

Важливо, щоб відібрані рослини для культивування були не вражені хворобами (вірусними, бактеріальними, грибовими), а також знаходилися в стані активного росту (Dixon, 1985). Цибулини, бульби, кореневища, котрі знаходяться в стані спокою, не придатні до культивування, попередньо їх доцільно обробити високими або низькими температурами перед введенням в культуру для переходу від фази спокою до фази інтенсивного росту. Відбір експланта доцільно здійснювати, орієнтуючись не лише на показники діагностики наявності інфекції, а варто враховувати також генотип вихідного матеріалу (Hasegawa, 1980).

Придатність до розмноження обумовлена генетично. Суниці розмножуються досить великою кількістю способів (укоріненими розетками, що формуються на вусиках, поділом куща, насінням, меристемою в культурі тканин), а, наприклад, обліпіха – жодним, в природних умовах – черенкується. Варто відзначити, що дводольні культури мають більшу регенераційну придатність, у порівнянні з однодольними (Субін, 2015; Mohamed, 2007).

Значна регенераційна здатність властива для видів рослин з родин Solanaceae, Asteraceae, Umbeliferae, Cruciferae, а низька – для видів рослин з родин Poaceae, Fabaceae.

Фізіологічні фактори. При доборі експланту враховують його походження, вік та будову. Важливо забезпечити найбільшу стабільність матеріалу, який буде клонуватися, щоб запобігти утворення аномальних рослин доцільно використовувати молоді, не сильно диференційовані тканини в якості експланта. Такі експланти краще укорінюються (Стадник та ін., 2015).

Найбільш вдало для культивування використовувати експланти, що містять меристеми, зокрема, пазушні бруньки, молоді листки, черенки, суцвіття, квітки. Досконалим варіантом для отримання великої кількості пагонів є апікальні та пазушні бруньки здорових рослин, які інтенсивно ростуть. Вони мають здатність досить активно пристосовуватися до умов ізолюваної культури, володіють високою інтенсивністю росту, тотипотентністю (Рудишин, 1998).

Розмір експланту також впливає на регенераційну здатність і сильно залежить від рослини-донора. В середньому його розмір варіює в межах від 0,1 мм до 2,0 см. Крупні за розміром експланти мають вищий відсоток виживання, інтенсивно ростуть в культурі *in vitro*, але існує ймовірність виникнення вірусів в клітинах крупних експлантів.

Для стерилізації рослинного матеріалу використовують на вибір: гідрохлорид натрію (NaClO), гідрохлорид кальцію (Ca(ClO)₂), хлорамін, етиловий спирт (C₂H₅OH), бром (Br), фенол (C₆H₅OH) (Лісовий, 2017).

Гормональні фактори. Склад поживного середовища варто підбирати спеціально для кожного виду рослин. Одним з визначальних факторів, що впливає на ефективність процесу мікроклонального розмноження рослин є склад живильного середовища, зокрема, вміст у ньому гормонів, вітамінів, вуглеводів, мікро- та макроелементів. Для активації розвитку апікальної меристеми потрібно забезпечити сприятливий фізико-хімічний баланс умов, необхідний для роботи з конкретним біовидом (Мацкевич та ін., 2022).

Досить поширеними при мікророзмноженні в умовах *in vitro* Мурасіге і Скуга, Лінсмейера і Скуга, Шенка і Хільдебрандта, Ніча, Гамборга, Хеллера. Найбільш часто використовують різні модифікації поживного середовища Мурасіге-Скуга, до складу якого входить неорганічний азот, що позитивно впливає на органогенез та соматичний ембріогенез, хоча певні види рослин мають індивідуальні потреби у елементах живлення. Зазвичай, як джерело вуглеводного живлення використовують сахарозу, рідше фруктозу та глюкозу. Тип культури визначає ступінь концентрації вуглеводів у живильному середовищі на етапах мікроклонального розмноження (Кушнір і Сарнацька, 2005).

Потрібно створити правильний баланс в поживному середовищі регуляторів росту з урахуванням біоматеріалу (Андрієвський та ін., 2019). Для введення меристем в культуру *in vitro* живильні середовища забезпечують підвищеними на 15% концентраціями регуляторів росту, у порівнянні, з базовими середовищами, котрі використовують для розмноження. Такий захід активує початкові етапи росту рослинного матеріалу в ізолюваній культурі. Культури здатні до розвитку як на агаризованих, так і на рідких поживних середовищах (Денчиля-Сакаль та ін., 2010).

Максимальний вміст у складі живильних середовищ ауксинів необхідний під час індукції ризогенезу у рослин-регенерантів. Переважання у живильних середовищах ауксинів у співвідношенні до цитокінінів забезпечує явище апікального домінування. Найбільш поширеним ауксином в природі є індолілоцтова кислота (ІОК), а завдяки низці перетворень амінокислоти триптофану відбувається синтез ендогенної ІОК (Мацкевич та ін., 2022).

Фізичні фактори. Температура та освітлення у культуральних кімнатах важливі фізичні фактори, що впливають на культивування. Температура культивування, зазвичай, варіює в межах від 22 до 26°C вдень та від 18 до 22°C вночі. Досить висока інтенсивність світла здатна спричинити хлорози, а також затримку розвитку, але при переносі в ґрунт ці рослини ростуть енергійніше. Важливим є поєднання спектру світла та гормональних факторів живильного середовища для підвищення коефіцієнту розмноження. Відносна вологість повітря 70–80%.

При розмноженні рослинного матеріалу виділяють два типи клонування: вертикальне та горизонтальне. Вертикальний тип клонування притаманний для таких культур, як картопля, спаржа. Для стимулювання розвитку апікальної меристеми до живильного середовища додають високі концентрації ауксинів. З однієї рослини даним методом клонування можна отримати до 7–10 клонів. Горизонтальний тип клонування є більш характерним для буряку цукрового, суниці, цикорію. Для забезпечення їх розвитку та розмноження необхідно додавати до живильного середовища високі концентрації цитокінінів (кінетин, 6-бензиламінопурин). Цитокініни здатні пригнічувати апікальне домінування. При горизонтальному клонуванні з однієї рослини можливо отримати 15–35 клонів (Кушнір, 2001).

Отримавши необхідну кількість клонів, їх потрібно перенести на живильне середовище для укорінення, а також отримання повноцінних рослин. Ауксини є головними індукторами коренеутворення. Після висадки рослин на живильні середовища для ризогенезу через 15–25 діб формується розвинена коренева система і рослинний матеріал є придатним для процесу адаптації і подальшого перенесення в природні умови вирощування.

Важливим етапом мікроклонального розмноження є перенесення рослин з умов *in vitro* до відкритого ґрунту. Оскільки, значна кількість рослин на цьому етапі може загинути обов'язково має цьому етапу передувати адаптація. Етап адаптації дозволяє зробити технологію мікроклонального розмноження економічно вигідною та скоротити витрати виробництва. Адаптація може відбуватися в умовах біотехнологічної лабораторії або ж за використання фітотронів (теплиць).

Отже, для різних генотипів рослин, варто використовувати методику, що передбачає підбір рослини-донора за віком, фенологічну фазу розвитку, тип експлантата, раціональний підбір умов стерилізації, складових компонентів живильного середовища на кожному етапі мікроклонального розмноження.

Вагомий внесок метод мікроклонального розмноження здійснює у виробництво садивного матеріалу дворічних, багаторічних культур з незначною насінневою продуктивністю, наприклад, моркви та люцерни. Ефективний мікроклональний розмноження і для триплоїдів, що не здатні розмножуватися самостійно, наприклад, цукровий буряк. У галузі квітникарства, наприклад, метод ефективний для виробництва садивного матеріалу троянд, тюльпанів, орхідей, бегонії, узамбарської фіалки (Сатарова та ін., 2016).

В умовах сьогодення для культивування рослинних експлантів існують розроблені технологічні прийоми, що виконують на кожному з етапів мікроклонального розмноження. Для таких культур як картопля, ожина, малина, слива, алича та багатьох інших розроблені протоколи біотехнологій мікроклонального розмноження (Мацкевич та ін., 2019). Протоколи біотехнологій мікроклонального розмноження рослин на практиці дозволяють підприємцям-виробникам скоротити витрати коштів і часу на їх дослідження.

Висновки

Метод мікроклонального розмноження рослин є досить ефективним і надає мож-

ливість в значних обсягах підвищити використання цінних генотипів рослин, а також сприяє збереженню та розмноженню різноманітних видів рослин. Особлива цінність методу мікроклонального розмноження полягає в тому, що він дає можливість отримати безвірусний садивний матеріал. За результатами опрацювання літературних джерел виділено основні етапи мікроклонального розмноження, а також фактори, що впливають на процеси його перебігу. Встановлені основні переваги методу мікроклонального розмноження рослин:

- залучення мінімальної кількості вихідного матеріалу;
- одержання генетично однорідного матеріалу;
- збереження генетичного різноманіття;
- виробництво садивного матеріалу для культур, що мають низькі коефіцієнти розмноження;
- отримання безвірусного садивного матеріалу;
- незалежність від сезону та погоднокліматичних умов та можливість проводити розмноження протягом року.

Список використаної літератури

- Андрієвський В.В., Врублевський А.Т., Філіпова Л.М., Мацкевич В.В., Мацкевич О.В. Проблеми мікроклонального розмноження фундука. *Агробіологія*. 2019. № 1. С. 74–84. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2019-146-1-74-84>.
- Войтовська В.І., Заболотна А.В., Кецакало В.В., Ковтунюк З.І. Клональне мікророзмноження індау посівного. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11. № 1. <https://doi.org/10.47414/na.11.1.2023.277429>.
- Денчиля-Сакаль Г.М., Ніколайчук В.І., Терек В.О. Мікроклональне розмноження рослин *Trifolium pretense L.* *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Біологія»*. 2010. Вип. 28. С. 1–4.
- Івченко Т.В., Мозговська Г.В., Віценя Т.І., Баштан Н.О., Мірошниченко Т.М. Методичні підходи щодо селекції та сучасних технологій розмноження і вирощування батату (*Ipomoea batatas L.*) (методичні рекомендації). Селекційне : ІОБ НААН, 2018. 36 с.
- Кунах В.А. Біотехнологія лікарських рослин. Генетичні та фізіолого-біохімічні основи. Київ. 2005. 730 с.
- Кушнір Г.П., Сарнацька В.В. Мікроклональне розмноження рослин. Теорія і практика. К. : Наукова думка, 2005. 270 с.
- Кушнір Г.П. Стан і перспективи клонального мікророзмноження рослин в Україні. *Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть*. 2001. Т. 1. С. 484–500.
- Лавриненко Ю.О., Балашова Г.С., Базалій В.В. Формування мікробульб картоплі в культурі *in vitro* залежно від температури та інтенсивності освітленості. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Т. 21. С. 57–61.
- Лавриненко Ю.О., Балашова Г.С., Котова О.І. Культивування рослин картоплі *in vitro* за мікроклонального розмноження. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 11. С. 43–47.
- Лісовий М.М. Особливості отримання асептичної культури *Thuja Occidentalis L.* в умовах *in vitro*. *Науковий вісник НАТУ України*. 2017. Вип. 27 (9). С. 27–29. <https://doi.org/10.15421/40270905>.
- Мацкевич В.В., Подгаєцький А.А., Філіпова Л.М. Мікроклональне розмноження окремих видів рослин (протоколи технологій): науково-практичний посібник. Біла Церква, БНАУ. 2019. 85 с.
- Мацкевич В.В., Філіпова Л.М., Олешко О.Г. Фізіологія та біотехнологія рослин: підручник. Біла Церква : БНАУ, 2022. 427 с.
- Мацкевич О.В., Кімейчук І.В., Мацкевич В.В., Павліченко А.А. Трофічні та фітогормональні детермінанти онтогенезу *in vitro*. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2022. Вип. 2 (48). С. 111–123. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.16>
- Мельничук М.Д., Новак Т.В., Кунах В.А. Біотехнологія рослин. Підручник. Київ: Поліграфконсалтинг, 2003. 520 с.
- Олійник О.О., Ключаваденко А.А., Мельничук М.Д. Покращення складу середовищ для підвищення росту і розвитку троянди ефірооїльної в культурі *in vitro*. *Науковий вісник НАТУ України*. 2016. Вип. 26. 7. С. 134–139.
- Подгаєцький А.А., Мацкевич В.В., Подгаєцький А.А. Особливості мікроклонального розмноження видів рослин: монографія. Біла Церква : БНАУ, 2018. 208 с.
- Рудишин С.Д. Основи біотехнології рослин: навчальний посібник. Вінниця : МП «ЗАПАЛ», 1998. 224 с.

Сатарова Т.М., Абраїмова О.Є., Вінніков А.І., Черенков А.В. Біотехнологія рослин : навчальний посібник. Дніпропетровськ : Адверта, 2016. 136 с.

Стадник А.П., Мацкевич В.В., Філіпова Л.М., Пасічник Т.В. Деконтамінація та первинне культивування експлантів *Agarantussp.* *Агроекологічний журнал*. 2015. № 2. С. 106–111.

Субін О.В. Мікроклональне розмноження суниці садової (*Fragaria Ananassa Duch.*) сорту Аліна в культурі *in vitro*. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Біологія, біотехнологія, екологія»*. 2015. Вип. 214. С. 281–288.

Dixon R.A. Plant cell culture a practical approach. Oxford – Washington, 1985. 236 p.

Hasegawa P.M. Factor affecting shoot and root initiation from culture rose shoot tip. *Journal of American Society for Horticultural Science*. 1980. № 115. pp. 216–220.

Lohar P.S. Textbook of Biotechnology. Hawthorne, CA : MJP Publisher, 2019. 774 p.

Mohamed A.E. Somaclonal variation in micro-propagated strawberry detected at the molecular level. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2007. Vol. 9 (5). pp. 721–725.

References

Andriievskiy, V.V., Vrublevskiy, A.T., Filipova, L.M., Matskevych, V.V., & Matskevych, O.V. (2019). Problemy mikroklonalnoho rozmnozhennia funduka [Problems of hazelnut microclonal propagation]. *Ahrobiolohiia [Agrbiology]*, 1, 74–84. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2019-146-1-74-84> [in Ukrainian].

Voitovska, V.I., Zabolotna, A.V., Ketskalo, V.V., & Kovtuniuk, Z.I. (2023). Klonalne mikrorozmnozhennia indau posivnoho [Clonal micropropagation of sowing indica]. *Novitni ahrotekhnolohii [Advanced Agritechnologies]*, 11, 1. <https://doi.org/10.47414/na.11.1.2023.277429> [in Ukrainian].

Denchylia-Sakal, H.M., Nikolaichuk, V.I., & Terek, V.O. (2010). Mikroklonalne rozmnozhennia roslyn *Trifolium pretense* L. [Microclonal propagation of *Trifolium pretense* L. plants]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriya «Biolohiia» [Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series «Biology»]*, 28, 1–4 [in Ukrainian].

Ivchenko, T.V., Mozghovska, H.V., Vitsenia, T.I., Bashtan, N.O., & Miroshnychenko T.M. (2018). Metodychni pidkhody shchodo selektsii ta suchasnykh tekhnolohii rozmnozhennia i vyroshchuvannia batatu (*Ipomoea batatas* L.) (metodychni rekomendatsii) [Methodological approaches to breeding and modern technologies of reproduction and cultivation of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) (guidelines)]. *Selektsiine : IOB NAAN*. 36 p. [in Ukrainian].

Kunakh, V.A. (2005). Biotekhnolohiia likarskykh roslyn. Henetychni ta fiziolohe-biokhimichni osnovy [Biotechnology of medicinal plants. Genetic, physiological and biochemical bases]. Kyiv. 730 p. [in Ukrainian].

Kushnir, H.P., & Sarnatska, V.V. (2005). Mikroklonalne rozmnozhennia roslyn. Teoriia i praktyka [Microclonal reproduction of plants. Theory and practice]. K. : Naukova dumka, 270 p. [in Ukrainian].

Kushnir, H.P. (2001). Stan i perspektyvy klonalnoho mikrorozmnozhennia roslyn v Ukraini [State and prospects of clonal micropropagation of plants in Ukraine]. *Henetyka i selektsiia v Ukraini na mezhi tysiacholit [Genetics and selection in Ukraine at the turn of the millennium]*, 1, 484–500 [in Ukrainian].

Lavrynenko, Yu.O., Balashova, H.S., & Bazalii, V.V. (2017). Formuvannia mikrobulb kartopli v kulturi *in vitro* zalezho vid temperatury ta intensyvnosti osvitenosti [Formation of potato microtubers in *in vitro* culture depending on temperature and light intensity]. *Fakty eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmiv [Factors in experimental evolution of organisms]*, 21, 57–61 [in Ukrainian].

Lavrynenko, Yu.O., Balashova, H.S., & Kotova, O.I. (2016). Kultyvuvannia roslyn kartopli *in vitro* za mikroklonalnoho rozmnozhennia [Cultivation of potato plants *in vitro* by microclonal propagation]. *Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]*, 11, 43–47 [in Ukrainian].

Lisovyi, M.M. (2017). Osoblyvosti otrymannia aseptychnoi kultury *Thuja Occidentalis* L. v umovakh *in vitro* [Some features of obtaining aseptic culture of *Thuja occidentalis* L. under *in vitro* conditions]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 27 (9), 27–29. <https://doi.org/10.15421/40270905> [in Ukrainian].

Matskevych, V.V., Podhaietskyi, A.A., & Filipova, L.M. (2019). Mikroklonalne rozmnozhennia okremykh vydiv roslyn (protokoly tekhnolohii): naukovo-praktychnyi posibnyk [Microclonal propagation of certain plant species (technology protocols): a scientific and practical guide]. Bila Tserkva, BNAU, 85 p. [in Ukrainian].

Matskevych, V.V., Filipova, L.M., & Oleshko O.H. (2022). Fiziologhiia ta biotekhnologhiia roslyn: pidruchnyk [Plant physiology and biotechnology: a textbook]. Bila Tserkva : BNAU, 427 p. [in Ukrainian].

Matskevych, O.V., Kimeichuk, I.V., Matskevych, V.V., & Pavlichenko, A.A. (2022). Trofichni ta fitohormonalni determinanty ontogenezu in vitro [Trophic and phytohormonal determinants of ontogenesis in vitro]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriiia «Ahronomiia i biolohiia» [Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series "Agronomy and Biology"]*, 2 (48), 111–123. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.16> [in Ukrainian].

Melnychuk, M.D., Novak, T.V., & Kunakh, V.A. (2003). Biotekhnologhiia roslyn. Pidruchnyk [Plant biotechnology. Textbook.]. Kyiv : Polihrafkonsaltynh, 520 p. [in Ukrainian].

Oliinyk, O.O., Kliuvadenko, A.A., & Melnychuk, M.D. (2016). Pokrashchennia skladu seredovyshch dlia pidvyshchennia rostu i rozvytku troiandy efirooliinoi v kulturi in vitro [Improving the composition of media to enhance the growth and development of essential oil rose in vitro culture]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 26.7, 134–139 [in Ukrainian].

Podhaietskyi, A.A., Matskevych, V.V., & Podhaietskyi, A.An. (2018). Osoblyvosti mikroklonalnoho rozmnozhennia vydiv roslyn: monohrafiia [Features of microclonal reproduction of plant species: a monograph]. Bila Tserkva : BNAU, 208 p. [in Ukrainian].

Rudyshyn, S.D. (1998). Osnovy biotekhnolohii roslyn: navchalnyi posibnyk [Fundamentals of plant biotechnology: a textbook]. Vinnytsia : MP «ZAPAL», 224 p. [in Ukrainian].

Satarova, T.M., Abraimova, O.Ie., Vinnikov, A.I., & Cherenkov A.V. (2016). Biotekhnologhiia roslyn : navchalnyi posibnyk [Plant biotechnology: a textbook]. Dnipropetrovsk : Adverta, 136 p. [in Ukrainian].

Stadnyk, A.P., Matskevych, V.V., Filipova, L.M., & Pasichnyk, T.V. (2015). Dekontaminatsiia ta pervynne kultyvuvannia eksplantiv Agapantussp [Decontamination and primary cultivation of Agapantussp explants]. *Ahroekolohichnyi zhurnal [Agroecological journal]*, 2, 106–111 [in Ukrainian].

Subin, O.V. (2015). Mikroklonalne rozmnozhennia sunytsi sadovoi (Fragaria Ananassa Duch.) sortu Alina v kulturi in vitro [Microclonal propagation of garden strawberry (Fragaria Ananassa Duch.) variety Alina in in vitro culture]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriiia «Biolohiia, biotekhnologhiia, ekolohiia» [Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series "Biology, Biotechnology, Ecology"]*, 214, 281–288 [in Ukrainian].

Dixon, R.A. (1985). Plant cell culture a practical approach. Oxford – Washington, 236 p. [in English].

Hasegawa, P.M. (1980). Factor affecting shoot and root initiation from culture rose shoot tip. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 115, 216–220 [in English].

Lohar, P.S. (2019). Textbook of Biotechnology. Hawthorne, CA : MJP Publisher, 774 p. [in English].

Mohamed, A.E. (2007). Somaclonal variation in micro-propagated strawberry detected at the molecular level. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9 (5), 721–725 [in English].

Отримано: 11.11.2024

Прийнято: 18.11.2024