

УДК 635.21:361.523

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.1.11>

## МЕТОДИ КУЛЬТИВУВАННЯ НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ КАРТОПЛІ, ОТРИМАНОВОГО В КУЛЬТУРІ МЕРИСТЕМИ *IN VITRO*

**Закорко В.С.** – аспірант кафедри біотехнології та хімії,  
молодший науковий співробітник,

Сумський національний аграрний університет

**Коваленко В.М.** – к.с.-г.н.,

доцент кафедри біотехнології та хімії,

Сумський національний аграрний університет

Огляд сучасних досліджень свідчить про значний прогрес у технологіях мікроклонального розмноження картоплі та водночас вказує на необхідність подальших досліджень для підвищення ефективності цих методів. Традиційні методи розмноження часто супроводжуються накопиченням вірусних інфекцій та патогенів, що негативно впливає на продуктивність і якість врожаїв. Використання біотехнологічних методів, зокрема мікроклонального розмноження *in vitro*, стає критично важливим для вирішення цих проблем. Основним завданням є розробка та оптимізація технологій мікроклонального розмноження картоплі для отримання високоякісного безвірусного посадкового матеріалу.

Аналіз сучасних методів розмноження картоплі показує, що традиційні підходи не здатні забезпечити необхідний рівень якості та стійкості насіннєвого матеріалу до хвороб. Використання біотехнологічних методів, зокрема мікроклонального розмноження *in vitro*, відкриває нові можливості для отримання безвірусного посадкового матеріалу. Успішна реалізація цих технологій може суттєво підвищити продуктивність та якість врожаїв картоплі.

Основні результати досліджень свідчать про ефективність мікробульб та мінібульб у порівнянні з традиційними методами розмноження. Однак для досягнення оптимальних результатів необхідно визначити ідеальні умови для їхнього вирощування, включаючи підбір відповідних поживних середовищ і регуляторів росту. Важливим аспектом є також адаптація мінібульб до відкритого ґрунту, що вимагає ретельного вивчення умов їхньої акліматизації.

Інтеграція аеропонних і гідропонних систем у процес виробництва картоплі може значно знизити ризики, пов'язані з вірусними інфекціями, і забезпечити стабільність та високі показники продуктивності. Таким чином, розробка та оптимізація біотехнологічних методів розмноження картоплі є актуальним завданням, що потребує подальшого вивчення та вдосконалення.

**Ключові слова:** мікроклональне розмноження, картопля, *in vitro*, мікробульби, міні бульби, безвірусний насіннєвий матеріал.

**Zakorko V.S., Kovalenko V.M. Methods of cultivating potato seed material obtained in meristem culture *in vitro***

A review of current research indicates significant progress in microclonal potato propagation technologies and at the same time indicates the need for further research to improve the effectiveness of these methods. Traditional breeding methods are often accompanied by the accumulation of viral infections and pathogens, which negatively affects the productivity and quality of crops. The use of biotechnological methods, in particular microclonal propagation *in vitro*, becomes critical for solving these problems. The main task is the development and optimization of microclonal potato propagation technologies to obtain high-quality virus-free planting material.

Analysis of modern methods of potato breeding shows that traditional approaches are not able to ensure the necessary level of quality and resistance of seed material to diseases. The use of biotechnological methods, in particular microclonal reproduction

*in vitro*, opens up new opportunities for obtaining virus-free planting material. The successful implementation of these technologies can significantly increase the productivity and quality of potato crops.

The main research results indicate the effectiveness of microbulbs and minibulbs in comparison with traditional propagation methods. However, to achieve optimal results, it is necessary to determine the ideal conditions for their cultivation, including the selection of appropriate nutrient media and growth regulators. An important aspect is also the adaptation of minibulbs to open soil, which requires careful study of their acclimatization conditions.

The integration of aeroponic and hydroponic systems into the potato production process can significantly reduce the risks associated with viral infections and ensure stability and high productivity. Thus, the development and optimization of biotechnological methods of potato propagation is an urgent task that requires further study and improvement.

**Key words:** microclonal propagation, potato, *in vitro*, microtubers, mini tubers, virus-free seed material.

**Постановка проблеми.** Сучасне сільське господарство, зокрема виробництво картоплі, вимагає якісного насінневого матеріалу для забезпечення стабільної врожайності та стійкості до захворювань. Проте традиційні методи розмноження картоплі мають низку обмежень, серед яких поширення вірусних та бактеріальних інфекцій, що призводить до значних втрат урожаю. Використання ураженого матеріалу впливає на продуктивність культури та потребує додаткових агротехнічних заходів, що підвищує витрати на вирощування.

У відповідь на ці виклики, технології мікроклонального розмноження *in vitro* стають важливим інструментом для отримання безвірусного насінневого матеріалу. Цей підхід забезпечує швидке й масове виробництво генетично однорідних рослин, які зберігають усі ознаки вихідного сорту, що дає можливість реалізувати їх адаптивний потенціал.

Отже, проблема полягає у пошуку та впровадженні таких технологічних рішень, які б підвищили ефективність мікроклонального розмноження картоплі з точки зору отримання більшої кількості бульб з рослин *in vivo*, забезпечити виробництво якісного насінневого матеріалу та мінімізували ризики інфікування рослин. Це вимагає глибокого аналізу сучасних методик та світового досвіду, а також адаптації новітніх підходів до локальних умов вирощування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У наукових колах активно досліджуються сучасні методи мікроклонального розмноження картоплі та оптимізації процесів вирощування оздоровленого насінневого матеріалу. Численні публікації підтверджують важливість використання біотехнологічних підходів для забезпечення безвірусного розмноження. Зокрема, в роботах багатьох дослідників висвітлено ефективність методу *in vitro* для отримання мікробульб, які мають високу стійкість до патогенів та зберігають генетичну стабільність вихідного матеріалу [1, 2, 4].

В останніх дослідженнях акцентується увага на підборі оптимальних поживних середовищ для культивування рослин *in vitro*, а також на ролі регуляторів росту, таких як цитокініни та ауксини, у прискоренні процесу мікробульбоутворення. Дослідники вивчають також вплив факторів освітлення та температури на швидкість росту і формування бульб. Такі підходи дозволяють досягти підвищеної продуктивності процесу та скоротити час отримання посадкового матеріалу [3].

Окремі публікації зосереджені на адаптації міні бульб до умов відкритого ґрунту, що є критично важливим етапом для забезпечення їхньої життєздатності після лабораторних умов [5, 7]. Сучасні дослідження також підкреслюють перспективність використання аеропонних і гідропонних систем для отримання міні бульб, які можуть значно зменшити ризики інфекційних уражень та оптимізувати витрати на виробництво [8]. Світовий досвід показує, що технології мікроклонального розмноження вже широко впроваджуються у країнах з розвиненим сільським господарством, таких як Нідерланди, Китай та Індія [6, 9, 11].

Таким чином, огляд сучасних досліджень свідчить про значний прогрес у технологіях мікроклонального розмноження картоплі та водночас вказує на необхідність подальших досліджень для підвищення ефективності цих методів. [8, 12].

**Постановка завдання.** Традиційні методи розмноження часто супроводжуються накопиченням вірусних інфекцій та патогенів, що негативно впливає на продуктивність і якість врожаїв. Використання біотехнологічних методів, зокрема мікроклонального розмноження *in vitro*, стає критично важливим для вирішення цих проблем. Основним завданням є розробка та оптимізація технологій мікроклонального розмноження картоплі для отримання високоякісного безвірусного посадкового матеріалу.

**Виклад основного матеріалу досліджень. Мікроклональне розмноження картоплі.** Мікроклональне розмноження картоплі – це сучасний метод отримання безвірусного насінневого матеріалу шляхом культивування рослинних тканин *in vitro*. Цей метод є важливою частиною в первинному насінництві картоплі завдяки можливості швидко розмножувати генетично ідентичні рослини звільнені від вірусів, які суттєво впливають на реалізацію потенціалу сортів в польових умовах.

Доведено, що використання біотехнологічних методів в рослинництві набуває все більшої актуальності в сучасному веденні сільськогосподарського виробництва. Застосування створених прописів поживних середовищ є важливою складовою в даному процесі. Пошук нових підходів в мікроклональному розмноженні дозволить інтенсифікувати та вдосконалити технологічні аспекти ведення якісного насінництва картоплі.

Культивування на поживних середовищах: Зазвичай використовують середовище Мурасіге-Скуга (MS) з додаванням регуляторів росту, таких як цитокініни та ауксини, для стимуляції утворення пагонів і міні-бульб (табл. 1).

Попередні дослідження показали, що варіації в концентраціях цукрози впливають на зміну реакції меристемних рослин та перехід від інтенсивного росту в пробірках до процесу утворення мікробульб в темряві шляхом гетеротрофного живлення, також доведено можливість отримання світлових мікробульб в стерильних умовах. Подальше їх вирощування як в умовах закритого ґрунту так і в умовах *in vivo* дозволить суттєво збільшити кількість міні-бульб різних сортів картоплі в умовах одного календарного року.

Доведено, що сорти картоплі різняться за відсотком приживлення та укорінення під час висаджування у вигляді меристемних рослин та мікробульб, що потрібно враховувати під час вибору підходів враховуючи біологічні особливості сортів. Тому процес адаптації до умов *in vivo* є важливим етапом збільшення кількості рослин в польових умовах [1, 7, 13].

Варто зазначити основні характеристики ґрунтів і торфосумішей, які застосовуються для вирощування рослин *in vitro* або в закритих умовах, зокрема для мікроклонального розмноження картоплі. Зосередимося на ключових показниках: рН, вміст макро- і мікроелементів, а також властивостях різних субстратів.

Таблиця 1

**Склад поживного середовища для отримання безвірусного насіннєвого матеріалу картоплі в умовах in vitro (Мурасіге-Скуга)**

Компоненти середовища	Вміст, мг/л	Компоненти середовища	Вміст, мг/л
Макроелементи		CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0,025
KNO <sub>3</sub>	1900	CaCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0,025
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1650	Вітаміни	
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	170	Мезоінозит	100
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	370	Нікотинова кислота	0,5
CaC <sub>12</sub> · 2H <sub>2</sub> O	440	Піродоксин-НС1	0,5
Fe <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	27,8	Тіамін-НС1	0,1
Na <sub>2</sub> ЕДТА	37,3	Гліцин	2,0
Мікроелементи		Гідролізат казеїну	1000
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	6,2	Регулятори росту	
MnSO <sub>4</sub> · 4H <sub>2</sub> O	22,3	ІОК	2
ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	8,6	Кінетин	0,2
KJ	0,83	Джерело вуглеводів	
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0,25	Цукроза	30000

Досліджено, що оптимальний рівень рН для картоплі становить 5,5-6,5. При більш кислих значеннях (менше 5) уповільнюється ріст кореневої системи. Лужне середовище (рН понад 7) може спричиняти дефіцит доступних мікроелементів, особливо заліза. Торф часто має рН 3,5-5,5, тому його доводять до нейтрального, шляхом вапнування (додавання вапна або доломітового борошна).

Що стосовно макроелементів та субстратах слід відмітити, що Азот (N) відповідає за ріст надземної частини, сприяє утворенню нових пагонів. Оптимальна концентрація для розсади: 50-150 мг/л. Фосфор (P) потрібен для розвитку кореневої системи, особливо на початкових стадіях. Вміст: 50-100 мг/л. Калій (K) важливий для фотосинтеза та стійкості до стресів. Оптимальний рівень: 150-300 мг/л. Кальцій (Ca) допомагає стабілізувати клітинні стінки та регулює обмін речовин. Магній (Mg): входить до складу хлорофілу та впливає на фотосинтез.

Слід зазначити, що мікроелементи відіграють важливу роль в життєдіяльності клітин та забезпеченні нормального розвитку рослин. Залізо (Fe) забезпечує процеси дихання та фотосинтезу. Для доступності при рН вище 7 застосовують хелати заліза (EDDHA). Марганець (Mn) бере участь у ферментативних реакціях. Бор (B) впливає на ділення клітин та розвиток меристем. Цинк (Zn) та мідь (Cu) необхідні для регуляції ферментних систем. Молібден (Mo) потрібен для засвоєння азоту.

Доцільно відмітити коротку характеристику субстратів для мікроклонального розмноження картоплі. Торф: має високу вологоємність і низький вміст поживних речовин, тому його збагачують добривами. Кокосовий субстрат: легкий, з хорошою аерацією; часто використовується як альтернатива торфу. Перліт та вермикуліт: додають для покращення дренажу та аерації. Суміші на основі ґрунту: містять частки перегною або компосту для збагачення поживними речовинами. Часто використовують стерильні суміші на основі торфу та агроперліту (співвідношення

3:1). Для підтримання здорового середовища використовують регулятори рН та додають мікродобрива [2, 6, 14].

Таким чином, враховуючи вищевикладене, слід зазначити, що оптимальний підбір та підготовка ґрунту для подальшого вирощування як меристемних рослин і мікробульб відіграє важливу роль в технології отримання доbazового насінневого матеріалу картоплі.

**Отримання мікробульб в умовах *in vitro*.** Наразі одним із найбільш перспективних методів прискореного розмноження насінневого матеріалу, отриманого в культурі меристем *in vitro* для отримання доbazового насінневого матеріалу, а саме супер-супереліти є цілорічне культивування мікробульб *in vitro*. Це значно інтенсифікує та підвищує економічну ефективність в насінницькому процесі. Разом з тим, такі мікробульби вільні від фітопатогенів.

Головною перевагою мікробульб є можливість накопичувати і зберігати їх протягом тривалого часу до садіння в культивацийні споруди та відкритий ґрунт або до моменту реалізації.

Результати попередніх досліджень продемонстрували, що продуктивність рослин за використання мікробульб *in vitro* в 1,4-2,3 рази вища порівняно з розсадним способом вирощування мінібульб. Кількісний вихід мінібульб за використання мікробульб *in vitro* також вищий порівняно з розсадою від мікро-рослин та мікробульб, оскільки зростає в 1,3 рази продуктивність рослин, що забезпечує додаткове отримання 100 тис. насінневих бульб з 1 га. Проте процес їх отримання потребує знання механізму та дотримання процесу бульбоутворення як фізіолого-біохімічного процесу та способів його регуляції.

Встановлено, що бульбоутворення в рослині індукується системою факторів, а саме: надлишком асимілянтів, гормональним станом рослин, фотоперіодом, зниженням температури, дефіцитом азоту, зміною атрагуючих центрів у зв'язку із затуханням активності апікальної меристеми стебла у бік стolonів і бульб, онтогенетичним станом рослини [3, 9, 15].

Доведено, що важливим чинником щодо впливу на процес бульбоутворення є фітогормони [2, 10]. Зокрема гібереліни впливають на бульбоутворення опосередковано, регулюючи швидкість росту паростків. Цитокініни, ауксини і абсцизова кислота регулює збільшення бульб, контролюючи поділ клітин і збільшення їхніх розмірів [4, 5]. Фотоперіод також змінює рівновагу між промоторами росту і його інгібіторами в бік останніх [16]. Оптимізує умови одержання мікробульб *in vitro* також підвищений вміст цукру в середовищі, зменшення світлої частини доби, використання періоду холодної індукції, додавання фітогормонів.

З аналізу закордонної літератури підтверджується, що бульбоутворення може індукуватися вуглеводами, діючи на рівень ендогенних фітогормонів і відповідно на ріст бульб. Показано також, що вуглеводи переважно переміщуються в частини рослин з підвищеним рівнем фітогормонів [7, 11].

Важливим чинником є також живильний субстрат за культивування живців від рослин *in vitro*, які використовуються для отримання мікробульб. Здебільшого використовуються різні види "активних субстратів" для вирощування рослин, а саме субстрати на основі природних цеолітів, за використання глини, синтетичних іонітів. Зазначається, що за дослідженнями, проведеними в Україні, досить ефективні іонообмінні субстрати, яким властива значна іонообмінна ємність, за рахунок утримання значного запасу біогенних елементів в осмотично неактивному виді. Завдяки цьому вони здатні забезпечувати ріст рослин за рахунок цього запасу і поливу водою без додаткових добрив.

На такому субстраті добре сформовані рослини з розвинутою кореневою системою утворюються протягом 21 доби. За їх садіння у гребені приживлення становить 78-96%.

Доведено, що за культивування таких рослин для отримання мікробульб в живильний субстрат додають кінетин в концентрації 1 мл/л. Зокрема встановлено, що культивування в чашках Петрі без світла дозволяє збільшити кількість мікробульб і скоротити період їх утворення [5, 17].

Важливий фактор бульбоутворення – підвищена концентрація сахарози в середовищі: 4-6% – для сортів, у яких бульбоутворення *in vitro* ускладнено. Важливим в індукуванні мікробульб є також фотоперіод.

Таким чином, вплив різних факторів на бульбоутворення *in vitro* проявляється за їх взаємодії, а не окремо.

**Висновки.** Аналіз сучасних методів розмноження картоплі показує, що традиційні підходи не здатні забезпечити необхідний рівень якості та стійкості насінневого матеріалу до хвороб. Використання біотехнологічних методів, зокрема мікроклонального розмноження *in vitro*, відкриває нові можливості для отримання безвірусного посадкового матеріалу. Успішна реалізація цих технологій може суттєво підвищити продуктивність та якість врожаїв картоплі.

Основні результати досліджень свідчать про ефективність мікробульб та мінібульб у порівнянні з традиційними методами розмноження. Однак для досягнення оптимальних результатів необхідно визначити ідеальні умови для їхнього вирощування, включаючи підбір відповідних поживних середовищ і регуляторів росту. Важливим аспектом є також адаптація мінібульб до відкритого ґрунту, що вимагає ретельного вивчення умов їхньої акліматизації.

Інтеграція аеропонних і гідропонних систем у процес виробництва картоплі може значно знизити ризики, пов'язані з вірусними інфекціями, і забезпечити стабільність та високі показники продуктивності. Таким чином, розробка та оптимізація біотехнологічних методів розмноження картоплі є актуальним завданням, що потребує подальшого вивчення та вдосконалення.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. El-Ramady H., Seliem M.K., El-Mahrouk M.E., Taha N., Bayoumi Y., Shalaby T.A. An academic and technical overview on plant micropropagation challenges. *Horticulturae*. 2022. 8(8). 677.
2. Рязанцев В.Б., Верменко Ю.Я., Лященко С.А. Біотехнологічні способи одержання та розмноження оздоровленого вихідного матеріалу картоплі. *Картоплярство України*. 2007. № 1 (6). С. 10–15.
3. Чечітко І.П., Мацкевич В.В. Відтворення насінневого матеріалу картоплі в Україні: сучасний стан та перспективи. *Картоплярство*. 2004. Вип. 33. С. 31–41.
4. Chifetete V.W, Dames J.F. Mycorrhizal Interventions for Sustainable Potato Production in Africa. *Front. Sustain. Food Syst*. 2020. 4. 593053. doi: 10.3389/fsufs.2020.593053
5. Taktaiev V.A., Furdyga M.M., Oliynyk T.M., Podberezko I.M., Podhaietskyi A.A., Cherednychenko L.M. Creation of disease-resistant potato breeding material with a complex of main economic and valuable characters. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*. 2023. 53(3). 91–98. doi.org/10.32782/agrobio.2023.3.13.
6. Бондарчук А.А., Верменко Ю.Я., Рязанцев В.Б., Рязанцев М.В. Біотехнологія в насінництві картоплі. *Вінниця*. 2016. С. 42–43.
7. Rykaczewska K. The potato minituber production from microtubers in aeroponic culture. *Plant Soil Environ*. 2015. 62(5). 210–214.

8. Pantelić D. Effects of cultivar and plant origin on minituber production in aeroponics. *Horticulturae*. 2022. 8(10). 915.
  9. Chang. Growth and tuberization of hydroponically grown potatoes. *Potato Research*. 2012. 55(1). 69–81.
  10. Коваленко П.І., Іванов С.М. Технологія вирощування мінібульб картоплі. Київ: *Аграрна наука*. 2018.
  11. Fumia N., Pironon S., Rubinoff D., Khoury C.K., Gore M.A., Kanta, M.B. Wild relatives of potato may bolster its adaptation to new niches under future climate scenarios. *Food Energy Secur.* 2022. 11. e360. doi:10.1002/fes3.360.
  12. Furdyha M.M. Adaptive ability and potential properties of potato varieties selected by the Institute for Potato Research NAAS. *Agrarian Innovations*. 2022. 12. 103–109. doi: 10.32848/agrar.innov.2022.12.16
  13. Goffart J.P., Haverkort A., Storey M., Haase N., Martin M., Lebrun P., Ryckmans D., Florins D., Demeulemeester K. Potato Production in Northwestern Europe (Germany, France, the Netherlands, United Kingdom, Belgium): Characteristics, Issues, Challenges and Opportunities. *Potato Res.* 2022. 65. 503–547. doi.org/10.1007/s11540-021-09535-8.
  14. Сидоренко В.П. Особливості підготовки ґрунту для мінібульб. *Аграрний вісник*. 2019. 11(5). 22–26.
  15. Федоров Л.Г. Роль добрив у вирощуванні насінневої картоплі. *Журнал аграрної хімії*. 2020. 6(3). 34–40.
  16. Кузьменко А.М., Палій Ю.І. Управління поливом при вирощуванні мінібульб. *Аграрні технології України*. 2018. 2(1). 45–49.
  17. Шевченко Д.К. Фітосанітарний моніторинг при розмноженні картоплі. *Фітопатологія та захист рослин*. 2017. 8(2). 19–24.
-