

БІОТЕХНОЛОГІЯ

УДК 582.998.16:57.086.83

doi: 10.25128/2078-2357.25.4.1

Ю. М. ТАРАС^{ID}, О. В. СОРОКА^{ID}, М. З. ПРОКОП'ЯК^{ID}, Л. Р. ГРИЦАК^{ID},
Н. М. ДРОБИК^{ID}

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

E-mail: drobyk.n@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ КУЛЬТИВУВАННЯ *IN VITRO* ВИДІВ РОДУ *ARNICA L.* ФЛОРИ УКРАЇНИ

У статті висвітлено результати досліджень особливостей культивування *in vitro* видів роду *Arnica L.* флори України на прикладі *Arnica montana L.* – цінної лікарської рослини з високим вмістом біологічно активних сполук. Досліджено умови стерилізації та пророщування насіння, вплив різноманітних чинників на схожість, сезонну динаміку проростання, а також особливості вегетативного розмноження та калюсогенезу з різних типів експлантів. Встановлено оптимальні режими введення рослин у культуру *in vitro*, підібрано ефективні комбінації регуляторів росту для мікроклонального розмноження та індукції калюсоутворення.

Отримані результати створюють наукове підґрунтя для наступних досліджень щодо культивування рослин цього виду *in vitro*, масового розмноження, збереження генофонду та подальших біотехнологічних досліджень *A. montana*.

Ключові слова: *Arnica montana L.*, культура *in vitro*, проростання насіння, мікроклональне розмноження, калюсогенез.

Збереження рослинної біорізноманітності є одним із пріоритетних напрямів сучасних біотехнологічних досліджень. Особливої уваги потребують види лікарських рослин, природні популяції яких зазнають інтенсивного антропогенного впливу, що призводить до скорочення їх чисельності та фрагментації ареалів. До таких належать види роду *Arnica L.*, поширені у флорі України та відомі високою фармакологічною цінністю завдяки вмісту біологічно активних речовин (БАР) [3, 6].

Традиційні способи заготівлі сировини з природних популяцій не забезпечують сталого використання цих ресурсів і створюють загрозу їх повного зникнення. У зв'язку з цим актуальним є застосування методів культури рослинних тканин *in vitro*, які відкривають можливості для збереження генофонду, масового розмноження та отримання стандартизованого рослинного матеріалу незалежно від природних умов [4].

Незважаючи на наявність окремих праць [1, 4, 5, 7, 15], питання оптимізації умов культивування *in vitro* видів роду *Arnica* флори України залишаються недостатньо вивченими, що зумовлює необхідність проведення комплексних експериментальних досліджень у цьому напрямі.



©2025 Ю. М. Тарас та співавт. Стаття відкрита для доступу та розповсюджується на умовах ліцензії [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), яка дозволяє необмежене використання, розповсюдження та відтворення на будь-якому носії за умови належного цитування оригінальної роботи.

До цінних лікарських рослин, що широко застосовуються в офіційній та народній медицині, належить арніка гірська (*Arnica montana* L.). З лікувальною метою використовують передусім її суцвіття – кошики, а також кореневища й корені, рідше – листки. Відомо, що екстракти *A. montana* входять до складу низки лікарських засобів, зокрема «Аркален», «Просталад», «Кардіолін», «Стоматофіт», «Іов-венум», «Мазь арніки Др. Тайс» та інших. Препарати на основі арніки виявляють широкий спектр фармакологічної дії: кровоспинну, жовчогінну, протизапальну, бактерицидну, ранозагоювальну, знеболювальну, судинорозширювальну, тонізуючу, антиоксидантну, заспокійливу та інші ефекти [10].

Лікувальні властивості *A. montana* зумовлені високим вмістом біологічно активних речовин. У суцвіттях накопичується до 4 % арніцину – суміші арнідіолу, фарадіолу та вуглеводної складової. З листків і квіткових кошиків виділено арніфолін, каротиноїди, холін, бетаїн, цинарин, ефірну олію, а також інші сполуки [10, 11]. У квітках містяться олії, вуглеводи, смолисті речовини та пігмент лютеїн, виявлено органічні кислоти (фумарову, яблучну, молочну) і значну кількість аскорбінової кислоти. Корені містять ненасичені вуглеводи, фітостерини, ефірну олію та органічні кислоти (ізомасляну, мурашину, ангелікову) [4, 8, 13].

Метою статті є дослідження особливостей культивування *in vitro* рослин видів роду *Arnica* флори України з метою оптимізації умов отримання та росту асептичних рослин, підбору умов для мікроклонального розмноження, індукції та проліферації калюсу.

Матеріали та методи досліджень

Вихідним матеріалом слугувало насіння *A. montana*, зібране на горі Пожижевській (1450 м н. р. м., хребет Чорногора, Івано-Франківська область).

Для одержання асептичних проростків насіння стерилізували 15–20 %-ми розчинами H_2O_2 упродовж 20–45 хв, після чого висаджували в стерильні чашки Петрі на агаризоване живильне середовище МС [7, 9, 13] із половинним вмістом макро- та мікросолей (МС/2). Пророщування здійснювали як за освітлення (3000 лк) при температурі +20–22°C і відносній вологості 80 %, так і в термостатованих умовах за тієї ж температури без доступу світла.

Для підбору оптимальних умов вегетативного розмноження використовували асептичні рослини віком 1,5–2 місяці, отримані з насіння. Їх розділяли на живці та культивували на агаризованому і рідкому (на паперових містках) середовищі МС/2 з додаванням регуляторів росту: індолілоцтової кислоти (ІОК), кінетину (Кін), 1-нафтилоцтової кислоти (НОК) та гіберелової кислоти (ГК₃).

Для індукції калусоутворення використовували експланти з листкових пластинок, черешків листків і коренів, які культивували на середовищах МС, МС/2 та В₅ із половинною концентрацією солей (В₅/2), доповнених різними комбінаціями регуляторів росту (Кін, БАП, 2,4-Д, НОК, ІОК). Частоту калусогенезу визначали через три тижні як відсоткове співвідношення кількості експлантів, що утворили калус, до їх загальної кількості. Культури інкубували в темряві за температури +25–26,5°C із субкультивуванням кожні три тижні.

Результати досліджень та їх обговорення

Ефективним способом введення рослин у культуру *in vitro* є одержання асептичних рослин шляхом пророщування попередньо стерилізованого насіння.

Відомо, що оптимальні температури проростання зазвичай відповідають кліматичним умовам природного ареалу виду [4, 6, 12], однак для активації проростання насіння часто потребує впливу знижених температур. Обробка гібереліном у багатьох рослин прискорює цей процес. За літературними даними, для успішного проростання насіння *A. montana* необхідні короткочасна холодова стратифікація, передпосівна обробка гібереловою кислотою (ГК₃) протягом кількох діб або механічне порушення покривів; також встановлено, що насіння краще проростає за наявності освітлення [4, 6, 7, 12].

З урахуванням цих відомостей було досліджено вплив строків висівання, обробки розчинами ГК₃ (100 і 1000 мг/л) та умов освітлення на схожість насіння *A. montana*. Під час відпрацювання режиму стерилізації оптимальною виявилася обробка 15 %-м розчином H_2O_2 протягом 20 хв, що забезпечувала ефективність стерилізації 99 %. Результати досліджень засвідчили, що насіння найкраще проростає за освітлення. Холодова стратифікація при +5–7°C

упродовж 1,5–2 місяців у поєднанні з передпосівною обробкою розчинами ГК₃ протягом доби підвищує його схожість, причому концентрація 1000 мг/л є ефективнішою для подолання періоду спокою – у цьому випадку показники проростання збільшувалися у 1,5–2 рази.

Сезонна динаміка проростання насіння *A. montana* в умовах *in vitro* показала, що найвищі показники на середовищі МС/2 без регуляторів росту спостерігали у серпні (45 %), у вересні вони становили близько 20 %, у жовтні – 10 %, а в листопаді знижувалися до 5 % (рис. 1). Зимові місяці були несприятливими для проростання, і лише у лютому схожість підвищувалася до 12–13 %. Появу перших проростків у всіх випадках було зафіксовано на 7–12 добу культивування.

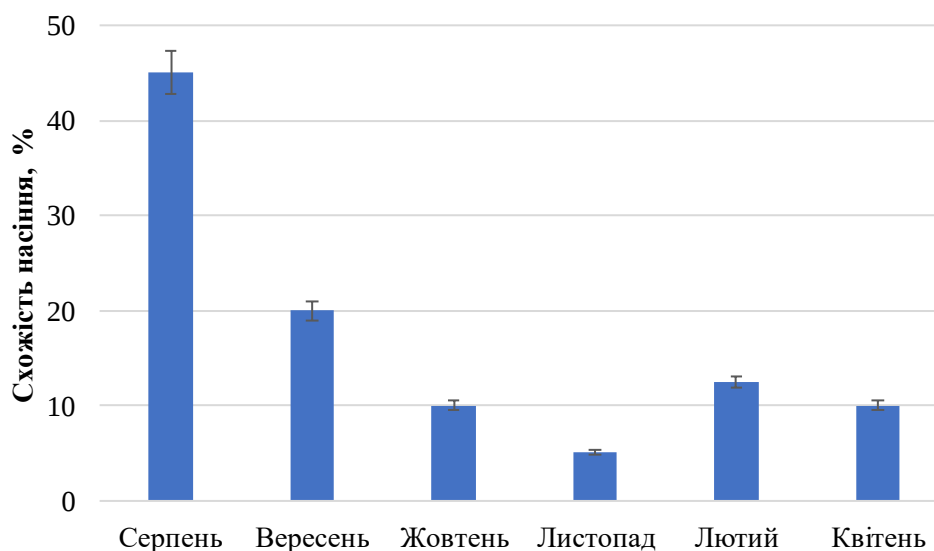


Рис. 1. Динаміка проростання насіння *A. montana in vitro*.

Встановлено, що найбільш сприятливі умови для росту рослин *A. montana in vitro* забезпечувало агаризоване живильне середовище з додаванням 0,1 мг/л НОК (рис. 2). Оскільки *A. montana* є рослиною з прикореневою розеткою листків, це ускладнює процес живцювання в культурі *in vitro*. З метою стимулювання цього процесу до складу середовища вводили гіберелову кислоту, яка сприяє подовженню міжвузлів. Застосування ГК₃ активізувало інтеркалярний ріст *A. montana*: за 30 діб культивування на середовищі з 0,5 мг/л ГК₃ довжина рослин збільшувалася у 2,7 раза, тоді як у варіанті без додавання ГК₃ – лише у 1,9 раза.

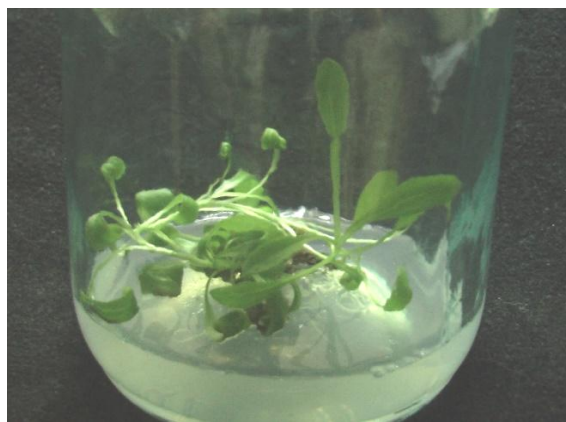


Рис. 2. Асептична рослина *A. montana* на агаризованому живильному середовищі МС/2, доповненому 0,1 мг/л НОК.

З метою підвищення ефективності вегетативного розмноження живильне середовище МС/2 доповнювали різними поєднання регуляторів росту – ІОК, Кін, НОК та ГКЗ. Найоптимальнішим для мікроклонального розмноження *A. montana* виявилося середовище МС/2 з додаванням 0,2 мг/л ІОК, 0,5 мг/л ГКЗ та 0,1 мг/л НОК.

Іншими дослідниками встановлено, що використання живильних середовищ із додаванням цитокінінів у поєднанні з низькими концентраціями ауксинів (НОК – 5,3 мкМ і 2iP (6-(γ,γ -диметилаліламіно)пурин) – 5,0 мкМ; ІОК – 0,1 мг/л та БАП – 1,0 мг/л; ІОК – 0,1 мг/л та зеатин – 1,0 мг/л; ІОК – 0,1 мг/л, ІМК – 0,5 мг/л та 2-iP – 1,0 мг/л) забезпечувало високий рівень індукції пагонів та значний коефіцієнт розмноження *A. montana*, що істотно перевищує ефективність традиційних способів вегетативного розмноження [7, 15].

За результатами порівняльного аналізу живильних середовищ МС та МС/2 із додаванням різних регуляторів росту встановлено, що найінтенсивніший калюсогенез забезпечувало використання 2,4-Д у концентраціях 0,1–1,0 мг/л. Виявлено, що за наявності 0,1 мг/л 2,4-Д формування калюсу на листових і черешкових експлантах *A. montana* розпочиналося вже на 4–5 добу культивування на середовищі МС та на 2–3 добу – на МС/2. На корневих експлантах індукція калюсогенезу спостерігалася дещо пізніше – через 6–8 діб. Підвищення концентрації 2,4-Д до 0,5 і 1,0 мг/л знижувало ефективність процесу: утворення калюсу відзначали лише на 23–25 добу культивування.

У роботах інших вчених калюс *A. montana* отримували на живильному середовищі МС за освітлення 2000 люксів за 16-годинного фотоперіоду та температури +23 °С упродовж 50 діб. Для отримання та підтримання культури тканин використовували ІОК у концентрації 2,0 мг/л, НОК – 0,1 мг/л та кінетин – 0,5 мг/л; НОК – 1–5 мг/л, КІН – 0,5 мг/л, БАП – 1 мг/л [13–15].

Отримані калюсні та суспензійні культури *A. montana*, які характеризувалися інтенсивним ростом, автори пропонують використовувати для подальших біотехнологічних розробок, зокрема у біореакторних системах. Це створює передумови для масштабованого виробництва цінних метаболітів незалежно від природних популяцій [10, 13].

У проведених нами дослідженнях найвищий відсоток калюсогенезу на всіх типах експлантів *A. montana* зафіксовано на середовищі МС із 0,1 мг/л 2,4-Д; зі зростанням концентрації ауксину цей показник зменшувався (рис. 3). Аналогічну тенденцію відзначено і на середовищі МС/2. Серед досліджених експлантів найбільшу калюсогенну здатність за різних концентрацій 2,4-Д на обох середовищах проявили листові експланти.

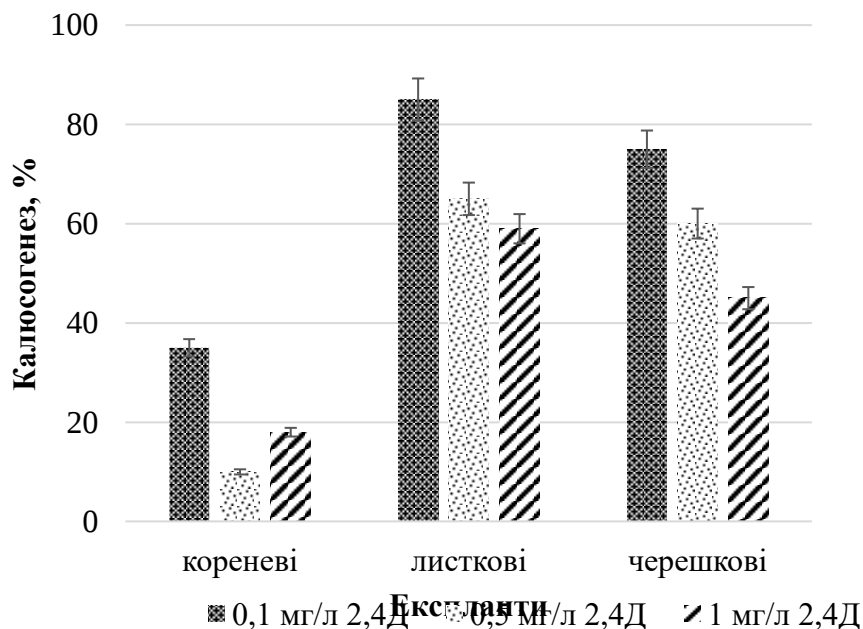


Рис. 3. Індукція калюсоутворення з експлантів рослин *A. montana* на живильному середовищі МС, доповненому різними концентраціями 2,4-Д.

За внесення 0,1 мг/л 2,4-Д до середовищ МС і МС/2 сформований калюс мав світло-жовте забарвлення та пухку консистенцію, тоді як за вищих концентрацій він набував жовто-коричневого кольору і щільної структури. Подальше пасажування отриманого калюсу на тих самих середовищах виявилось малоефективним: проліферативна активність була низькою, а тканина піддавалася некрозу через 7–8 діб (за 0,5–1,0 мг/л 2,4-Д) та через 10–12 діб (за 0,1 мг/л 2,4-Д).

У деяких випадках на початкових етапах проліферації (1–3 пасажі) культури кореневого і листового походження поряд з наростанням калюсу ми спостерігали спонтанну регенерацію коренів.

Підбір оптимальних умов для індукції та проліферації калюсу дозволить отримати рослинну сировину – потенційне джерело БАР. Саме цим і визначаються перспективи наших подальших досліджень. Адже відомо, що дослідниками приділяється значна увага вивченню біосинтетичного потенціалу культур *in vitro*. Встановлено, що калюсні та клітинні культури здатні синтезувати широкий спектр БАР. Поряд із цим, виявлено низку обмежень, серед яких генотипова залежність морфогенетичних реакцій, варіабельність накопичення вторинних метаболітів та ризик соматоклональної мінливості. Це зумовлює необхідність подальшої оптимізації умов культивування та поглибленого вивчення фізіолого-біохімічних механізмів, що регулюють процеси росту і розвитку культур *in vitro* [7, 13–15].

Висновки

Проведені дослідження підтвердили перспективність застосування методів культури *in vitro* для збереження та раціонального використання цінної лікарської рослини – *A. montana*. Оптимізовано основні етапи введення виду в асептичну культуру, мікроклонального розмноження та індукції калюсогенезу. Це дозволить, з одного боку, отримувати велику кількість рослин *in vitro*, а з іншого – калюсні культури як потенційне джерело БАР.

Розроблені та оптимізовані умови культивування *in vitro* створюють наукове підґрунтя для збереження генофонду *A. montana*, її масового розмноження, подальших біотехнологічних досліджень і отримання стандартизованої лікарської сировини незалежно від природних популяцій, що має важливе природоохоронне та фармакологічне значення.

1. Дубляк А. В., Різничук Н. І., Гнезділова В. І. Оптимізація умов культивування та фармакологічна ефективність *Arnica montana* L. *Ecological Sciences*. 2025. Вип. 6 (63). С. 239–241. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.37>.
2. Кириленко О. М. Оптимізація умов культивування рідкісних лікарських рослин. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 5. С. 45–52. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.37>.
3. Мірутенко В. Поширення арніки гірської (*Arnica montana* L.) на Закарпатті та ценотична характеристика угруповань. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*. 2022. № 53. С. 13–16. <https://doi.org/10.24144/1998-6475.2022.53.13-16>.
4. Надь Б. Б. Біоекологічні та біотехнологічні основи збереження генофонду *Arnica montana* L. в Закарпатті: монографія. Берегове: Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці ІІ. Ужгород: TIMPANI, 2014. 148 с.
5. Паляничко Н. І., Ольхович С. Я., Крохтяк О. В. Сучасний стан виробництва лікарської рослинної сировини в Україні. *Збалансоване природокористування*. 2019. № 2. С. 81–88. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2019.184161>.
6. Петріна Р.О., Маснюк Я.Т. Калусогенез у культурі *in vitro* арніки гірської. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2008. Вип. 609. С. 151–155.
7. Buthuc-Keul A. L., Deliu C. Clonal propagation of *Arnica montana* L., a medicinal plant. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2001. Vol. 37, no. 5. P. 581–585. <https://doi.org/10.1007/s11627-001-0102-2>.
8. Jurkiewicz A., Ryszka P., Anielska T., Waligórski P., Białońska D., Góralska K., Tsimilli-Michael M., Turnau K. Optimization of culture conditions of *Arnica montana* L.: effects of mycorrhizal fungi and competing plants. *Mycorrhiza*. 2009. Vol. 20, no. 5. P. 293–306. <https://doi.org/10.1007/s00572-009-0280-z>.
9. Kostyk Kh V., Lupiy Kh V., Mykytyuk V. S., Krvavych A. S., Petrina R. O. Optimization of the process of extraction of flavonoids from callus biomass of *Arnica montana*. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. 2018. Vol. 1, no. 1. P. 83–87. <https://doi.org/10.23939/ctas2018.01.083>.

10. Krauze-Baranowska M., Kimel K. *Arnica montana* and its medicinal value in the light of scientific research. *Farmacja Polska*. 2022. Vol. 78, no. 9. P. 491–502. <https://doi.org/10.32383/farmpol/156952>.
11. McCreath S. B., Clement Y. N. *Pharmacognosy*. 2nd ed. Academic Press, 2023. 819 p.
12. Medicinal Plants and their Bioactive Compounds in Human Health: Volume 2 / ed. by M. A. Ansari, S. Shoaib, M. A. Barkat. Singapore : Springer Nature Singapore, 2026. 602 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-95-3620-7>.
13. Nichterlein K. *Arnica montana* (Mountain Arnica): *In Vitro* Culture and the Production of Sesquiterpene Lactones and Other Secondary Metabolites. *Medicinal and Aromatic Plants VIII*. Berlin, Heidelberg, 1995. P. 47–61. https://doi.org/10.1007/978-3-662-08612-4_4.
14. Nieto-Trujillo A., Cruz-Sosa F., Luria-Pérez R., Gutiérrez-Rebolledo G. A., Román-Guerrero A., Burrola-Aguilar C., Zepeda-Gómez C., Estrada-Zúñiga M. E. *Arnica montana* Cell Culture Establishment, and Assessment of Its Cytotoxic, Antibacterial, α -Amylase Inhibitor, and Antioxidant *In Vitro* Bioactivities. *Plants*. 2021. Vol. 10, no 11. P. 2300. <https://doi.org/10.3390/plants10112300>.
15. Petrova M., Zayova E., Geneva M., Dimitrova L., Vitkova A., Stanilova M. Multiplication and Conservation of Threatened Medicinal Plant *Arnica montana* L. by *in vitro* Techniques. *Agric. conspec. sci.* 2021. Vol. 86, no. 1. P. 57–65.

References

1. Dubliak A. V., Riznychuk N. I., Hniezdiłova V. I. Optymizatsiia umov kultyvuvannia ta farmakolohichna efektyvnist *Arnica montana* L. *Ecological Sciences*. 2025. Vyp. 6 (63). S. 239–241. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.37>. [in Ukrainian]
2. Kyrylenko O. M. Optymizatsiia umov kultyvuvannia ridkisykh likarskykh roslyn. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2021. № 5. S. 45–52. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.37>. [in Ukrainian]
3. Mirutenko V. Poshyrennia arniky hirskei (*Arnica montana* L.) na Zakarpatti ta tsenotychna kharakterystyka uhrupovan. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii Biolohiia*. 2022. № 53. S. 13–16. <https://doi.org/10.24144/1998-6475.2022.53.13-16>. [in Ukrainian]
4. Nad B. B. Bioekolohichni ta biotekhnolohichni osnovy zberezhenia henofondu *Arnica montana* L. v Zakarpatti: monohrafiia. Berehove: Zakarpatskyi uhorskyi instytut im. Ferentsa Rakotsi II. Uzhhorod: TIMPANI, 2014. 148 s. [in Ukrainian]
5. Palianychko N. I., Olkhovych S. Ya., Krokhtiak O. V. Suchasnyi stan vyrobnytstva likarskei roslynnoi syrovyny v Ukraini. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*. 2019. № 2. S. 81–88. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2019.184161>.
6. Petrina R. O., Masniuk Ya. T. Kalusohenez u kulturi *in vitro* arniky hirskei. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika»*. 2008. Vyp. 609. S. 151–155. [in Ukrainian]
7. Buthuc-Keul A. L., Deliu C. Clonal propagation of *Arnica montana* L., a medicinal plant. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2001. Vol. 37, no. 5. P. 581–585. <https://doi.org/10.1007/s11627-001-0102-2>.
8. Jurkiewicz A., Ryszka P., Anielska T., Waligórski P., Białońska D., Góralska K., Tsimilli-Michael M., Turnau K. Optimization of culture conditions of *Arnica montana* L.: effects of mycorrhizal fungi and competing plants. *Mycorrhiza*. 2009. Vol. 20, no. 5. P. 293–306. <https://doi.org/10.1007/s00572-009-0280-z>.
9. Kostyk Kh V., Lupiy Kh V., Mykytyuk V. S., Krvavych A. S., Petrina R. O. Optimization of the process of extraction of flavonoids from callus biomass of *Arnica montana*. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. 2018. Vol. 1, no. 1. P. 83–87. <https://doi.org/10.23939/ctas2018.01.083>.
10. Krauze-Baranowska M., Kimel K. *Arnica montana* and its medicinal value in the light of scientific research. *Farmacja Polska*. 2022. Vol. 78, no. 9. P. 491–502. <https://doi.org/10.32383/farmpol/156952>.
11. McCreath S. B., Clement Y. N. *Pharmacognosy*. 2nd ed. Academic Press, 2023. 819 p.
12. Medicinal Plants and their Bioactive Compounds in Human Health: Volume 2 / ed. by M. A. Ansari, S. Shoaib, M. A. Barkat. Singapore : Springer Nature Singapore, 2026. 602 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-95-3620-7>.
13. Nichterlein K. *Arnica montana* (Mountain Arnica): *In Vitro* Culture and the Production of Sesquiterpene Lactones and Other Secondary Metabolites. *Medicinal and Aromatic Plants VIII*. Berlin, Heidelberg, 1995. P. 47–61. https://doi.org/10.1007/978-3-662-08612-4_4.
14. Nieto-Trujillo A., Cruz-Sosa F., Luria-Pérez R., Gutiérrez-Rebolledo G. A., Román-Guerrero A., Burrola-Aguilar C., Zepeda-Gómez C., Estrada-Zúñiga M. E. *Arnica montana* Cell Culture Establishment, and Assessment of Its Cytotoxic, Antibacterial, α -Amylase Inhibitor, and Antioxidant *In Vitro* Bioactivities. *Plants*. 2021. Vol. 10, no 11. P. 2300. <https://doi.org/10.3390/plants10112300>.

15. Petrova M., Zayova E., Geneva M., Dimitrova L., Vitkova A., Stanilova M. Multiplication and Conservation of Threatened Medicinal Plant *Arnica montana* L. by *in vitro* Techniques. *Agric. conspec. sci.* 2021. Vol. 86, no. 1. P. 57–65.

Yu. M. Taras, O. V. Soroka, M. Z. Prokopiak, L. R. Hrytsak, N. M. Drobyk

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

PECULIARITIES OF *IN VITRO* CULTIVATION OF SPECIES OF THE GENUS *ARNICA* L. IN THE FLORA OF UKRAINE

This article focuses on the study of the peculiarities of *in vitro* cultivation of species of the genus *Arnica* L. in the flora of Ukraine, with a specific focus on *Arnica montana* L. – a valuable medicinal plant facing significant anthropogenic pressure in its natural habitats. Given the species' high pharmacological value and limited natural resources, the use of biotechnological methods for plant material conservation and reproduction is crucial.

The goal of the study was to optimize conditions for plant introduction into sterile culture, seed germination, microclonal propagation, and induction of callus formation. The initial material consisted of seeds collected from the Ukrainian Carpathians under natural conditions. To obtain aseptic seedlings, seeds were sterilized with a 15 % hydrogen peroxide solution for 20 minutes before being sown on MS/2 medium.

It was found that seeds germinate better under light conditions. Cold stratification (+5–7°C for 1.5–2 months) combined with pre-sowing treatment using gibberellic acid (1000 mg/L) increased germination rates by 1.5–2 times. Seasonal dynamics of germination were observed, with the highest rates in August and the lowest during winter.

To stimulate plant growth and cutting propagation, MS/2 medium supplemented with growth regulators was used. The most favorable conditions for growth were found in the medium containing 0.1 mg/L NAA. The addition of 0.5 mg/L gibberellic acid promoted internode elongation and increased the efficiency of vegetative propagation. The optimal combination for microclonal propagation was 0.2 mg/L IAA, 0.5 mg/L GA₃, and 0.1 mg/L NAA.

The induction of callus formation from leaf, petiole, and root explants was studied on MS and MS/2 media supplemented with different concentrations of 2,4-D. The highest frequency of callus formation was achieved at 0.1 mg/L 2,4-D, with leaf explants showing the highest callusogenic activity. Increasing the auxin concentration led to reduced tissue proliferative capacity and rapid necrosis.

The results demonstrate the potential for efficient *in vitro* cultivation of *A. montana*, providing a foundation for gene pool conservation, large-scale propagation, and the production of standardized medicinal raw materials regardless of the state of natural populations.

Keywords: Arnica montana L., *in vitro* culture, seed germination, microclonal propagation, callus formation.

Надійшла до редакції: 05.12.2025

Прийнята до друку: 19.12.2025

Опублікована: 29.12.2025