

ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ КУЛЬТИВУВАННЯ ТА ФАРМАКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ *ARNICA MONTANA* L.

Дубляк А. В., Різничук Н. І., Гнезділова В. І.

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

вул. Шевченка, 57, 77008, м. Івано-Франківськ

dublyakandriy@gmail.com, nadiia.riznychuk@pnu.edu.ua, viktoria.gniezdilova@pnu.edu.ua

Arnica montana L. (арніка гірська) – перспективна лікарська рослина родини Asteraceae, яка широко використовується у фітотерапії завдяки своїм протизапальним, знеболювальним, антимікробним та антиоксидантним властивостям. Основними біологічно активними речовинами є сесквітерпенові лактони (насамперед геленалін), флавоноїди, ефірні олії та фенольні кислоти. Водночас вид належить до рідкісних і занесений до Червоної книги України, що потребує розробки ефективних методів культивування для збереження природних популяцій та забезпечення потреб фармацевтичної промисловості.

У статті представлено результати експериментальних досліджень, спрямованих на оптимізацію агротехнічних умов вирощування *Arnica montana* L. та оцінку фармакологічної активності отриманої сировини. Було проаналізовано вплив кислотності ґрунту, освітлення, режиму зволоження та застосування органічного добрива на морфометричні показники рослин, вміст флавоноїдів, геленаліну, фенольних кислот і ефірної олії. Визначено, що найвищі показники спостерігались при вирощуванні на кислому ґрунті з внесенням перегною. За цих умов вміст геленаліну досягав 0,78 %, а флавоноїдів – 12,4 мг/г сухої маси.

Фармакологічну активність оцінювали *in vitro*: протизапальна дія (інгібування COX-2), антиоксидантна (метод DPPH) та антимікробна (агар-дифузійний метод). Найактивнішими були екстракти з групи з оптимізованими умовами, що продемонстрували найнижчі значення IC₅₀ та найбільші зони інгібування. Жоден з досліджених екстрактів не проявив цитотоксичності у модельній клітинній системі НЕК293, що підтверджує безпечність при терапевтичному застосуванні. Отримані результати підтверджують, що агротехнічні умови суттєво впливають на біохімічний склад і лікувальний потенціал рослин *Arnica montana* L., а розроблена модель вирощування може бути рекомендована для впровадження у фітотехнологічну практику та створення стандартизованих лікарських препаратів природного походження. **Ключові слова:** *Arnica montana*, флавоноїди, культивування, геленалін, біоактивні речовини, інтродукція рослин, акліматизація.

Optimization of cultivation conditions and pharmacological efficacy of *Arnica montana* L. Dubliak A., Riznychuk N., Hnezdilova V.

Arnica montana L. is a promising medicinal plant of the Asteraceae family, widely used in phytotherapy due to its anti-inflammatory, analgesic, antimicrobial, and antioxidant properties. Its main biologically active compounds include sesquiterpene lactones (primarily helenalin), flavonoids, essential oils, and phenolic acids. However, the species is rare and listed in the Red Book of Ukraine, necessitating the development of effective cultivation methods to preserve natural populations and meet the needs of the pharmaceutical industry.

This article presents the results of experimental research aimed at optimizing the agrotechnical conditions for cultivating *Arnica montana* L. and evaluating the pharmacological activity of the harvested raw material. The effects of soil pH, lighting, moisture regime, and organic fertilization on plant morphometric parameters, flavonoid content, helenalin concentration, phenolic acids, and essential oil yield were analyzed. The best results were obtained under acidic soil conditions with added compost. Under these conditions, helenalin content reached 0.78 %, and flavonoid concentration was 12.4 mg/g dry weight.

Pharmacological activity was assessed *in vitro*, including anti-inflammatory activity (COX-2 inhibition), antioxidant capacity (DPPH method), and antimicrobial effects (agar diffusion method). The most active extracts came from the group with optimized growing conditions, showing the lowest IC₅₀ values and the largest inhibition zones. None of the studied extracts exhibited cytotoxicity in the HEK293 cell line model, confirming their safety for therapeutic use. These results confirm that agrotechnical conditions significantly affect the biochemical composition and therapeutic potential of *Arnica montana* L. The proposed cultivation model can be recommended for implementation in phytotechnological practice and the development of standardized natural medicinal products. **Key words:** *Arnica montana*, flavonoids, cultivation, helenalin, bioactive compounds, plant introduction, acclimatization.

Постановка проблеми. *Arnica montana* L. – рідкісна лікарська рослина, яка є джерелом біологічно активних речовин з протизапальною, антимікробною та антиоксидантною дією. Через зменшення природних популяцій постає потреба у її ефективному культивуванні.

Актуальність дослідження. З огляду на включення виду до Червоної книги України, важливим є створення умов, які забезпечують як збереження

популяцій, так і отримання високоякісної сировини для фармацевтичної галузі.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота є складовою сучасних досліджень у сфері фармакогнозії, біотехнології та охорони рідкісних видів флори. Вивчення *Arnica montana* L. відповідає актуальним завданням збереження біорізноманіття та сталого використання природних ресурсів, визна-

чених Стратегією державної екологічної політики України. Практичне значення дослідження полягає в розробці науково обґрунтованих підходів до культивування арніки в умовах контрольованого середовища з метою отримання стандартизованої лікарської сировини. Запропонована методика вирощування може бути інтегрована у виробничу діяльність підприємств фармацевтичного профілю, зокрема у сфері органічного рослинництва. Окрім того, результати дослідження мають міждисциплінарне значення – поєднують біологічні, агрономічні та фармацевтичні підходи для досягнення синергії між екологічною безпекою та економічною ефективністю вирощування лікарських рослин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання вивчення біологічно активних речовин *Arnica montana* L. та її фармакологічної дії широко висвітлюються у вітчизняній і зарубіжній науковій літературі [1, 2, 4]. Дослідження хімічного складу цієї рослини проводилися ще з середини ХХ століття, при цьому особлива увага приділялася вмісту сесквітерпенових лактонів, флавоноїдів, ефірної олії та фенольних кислот [6, 7]. Зокрема, геленалін був ідентифікований як ключовий компонент з вираженою протизапальною та протипухлинною активністю. У сучасних публікаціях акцент зміщено в бік вивчення механізмів дії біоактивних сполук, їх цитотоксичності, антиоксидантної ефективності, а також розробки методів стандартизації рослинної сировини [3, 5].

Зростає інтерес до агротехнічних аспектів вирощування *Arnica montana* як у контексті охорони виду, так і для забезпечення стабільного надходження сировини в фармацевтичну галузь. У ряді праць розглядаються способи поліпшення схожості насіння, оптимізація режимів освітлення та внесення добрив. Проте більшість досліджень або фокусуються на хімічному складі, або мають обмежене охоплення агротехнічних параметрів. Це визначає потребу в комплексному дослідженні, яке б об'єднувало ботанічні, біохімічні та технологічні аспекти культивування та використання арніки гірської.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри значну кількість досліджень, присвячених фармакологічним властивостям *Arnica montana* L., недостатньо вивченими залишаються питання впливу конкретних агротехнічних факторів на рівень біосинтезу біоактивних речовин. Брак даних про взаємозв'язок між умовами вирощування та фармакологічною активністю отриманих екстрактів ускладнює стандартизацію сировини для фармацевтичного використання. Також недостатньо досліджені оптимальні параметри освітлення, зволоження і типу ґрунту, які забезпечують максимальну терапевтичну ефективність арніки при мінімальному втручанні в природні ресурси. Таким чином, існує нагальна потреба у комплексному підході до оптимізації культиваційного процесу з урахуванням біологічних, хімічних та технологічних змінних.

Новизна. Вперше встановлено вплив різних агротехнічних умов (рН ґрунту, рівень освітлення, зволоження, внесення добрив) на вміст флавоноїдів, геленаліну та ефірної олії в *Arnica montana* L.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Методологічна основа дослідження ґрунтується на міждисциплінарному підході, який поєднує принципи фармакогнозії, агрономії, ботаніки та біохімії. Запропонована схема вирощування *Arnica montana* L. із системним контролем агрофакторів (рН ґрунту, освітлення, зволоження, добриво) дозволяє здійснювати спрямований вплив на кількісний та якісний склад біологічно активних речовин у рослині. Застосування сучасних аналітичних методів (спектрофотометрія, тонкошарова хроматографія, біотестування *in vitro*) сприяє високоточній оцінці фармакологічної активності отриманих екстрактів. Загальнонаукове значення полягає у створенні прикладної моделі для оптимізації культивування лікарських рослин з урахуванням екологічної доцільності та біологічної ефективності, що може бути адаптована до інших видів фіторесурсів. Рослини вирощували у чотирьох варіантах умов: контроль, нейтралізований ґрунт, кислий з органікою, затінення. Застосовано методи ТШХ, спектрофотометрії, біотестування СОХ-2, DPPH, дифузії в агар для оцінки фармакологічної дії.

Виклад основного матеріалу. У межах дослідження було проведено культивування *Arnica montana* L. в чотирьох експериментальних варіантах, що відрізнялись за типом ґрунту, рівнем освітлення, зволоженням та внесенням добрив. Контрольна група вирощувалась на кислому суглинку за природної інсоляції без додаткових втручань. Експериментальні групи включали нейтралізований ґрунт із підвищеним освітленням (Г1), кислий ґрунт із внесенням органічного добрива (Г2) та умови часткового затінення з крапельним зрошенням (Г3). Всі рослини були висіяні вручну, стратифіковане насіння використовувалося з природних популяцій Карпат.

Морфометричні показники (висота, кількість листків, кількість і діаметр суцвіть) фіксувалися протягом вегетаційного періоду. Найкращі результати були отримані у варіанті Г2: висота рослин сягала 45,7 см, кількість суцвіть – 3,7, діаметр – 7,6 см. Умови затінення негативно впливали на розвиток: рослини мали зменшені розміри та меншу кількість генеративних органів.

Хімічний аналіз надземної частини проводився за допомогою ТШХ, спектрофотометрії та гідродистиляції. Вміст флавоноїдів у групі Г2 становив 12,4 мг/г, геленаліну – 0,78 %, ефірної олії – 0,18 %. Аналітичне дослідження підтвердило, що кислий ґрунт у поєднанні з органічним добривом стимулює біосинтез цільових сполук.

Фармакологічна активність досліджувалась *in vitro*. Протизапальна дія оцінювалась за здатністю

екстрактів інгібувати СОХ-2 (IC_{50} – 18,7 мкг/мл у Г2), антиоксидантна – за методом DPPH (IC_{50} – 29,5 мкг/мл), антимікробна – методом агар-дифузії (зони інгібування до 17,4 мм). Цитотоксичність на клітинній лінії НЕК293 виявилася низькою, що підтверджує безпеку екстрактів.

Таким чином, отримані результати демонструють тісний зв'язок між агротехнічними умовами та фармакологічною цінністю рослини. Оптимізація культивацийних параметрів є ключовим чинником для підвищення якості лікарської сировини з *Arnica montana* L. Найкращі морфометричні показники (висота, кількість суцвіть) і максимальний вміст геленаліну (0,78 %) та флавоноїдів (12,4 мг/г) зафіксовано у варіанті з кислим ґрунтом та органічним добривом. Цей варіант також показав найвищу протизапальну (IC_{50} = 18,7 мкг/мл) та антимікробну активність (до 17,4 мм зони інгібування).

Головні висновки.

1. Проведене дослідження підтверджує, що агротехнічні умови вирощування мають суттєвий вплив на морфометричні показники та біохімічний склад *Arnica montana* L., що напряду визначає її фармакологічну ефективність.

2. Найбільш сприятливим для росту та накопичення біоактивних речовин є поєднання кислого ґрунту з внесенням органічного добрива, що забезпечує оптимальні умови для біосинтезу геленаліну, флавоноїдів та ефірної олії.

3. Отримані екстракти з рослин, вирощених за оптимізованих умов, демонструють високу протизапальну, антиоксидантну та антимікробну активність при відсутності цитотоксичного впливу.

4. Запропонована модель культивування може бути рекомендована для практичного впровадження у виробництво стандартизованої фітосировини, особливо в умовах органічного землеробства.

5. Результати дослідження відкривають перспективи для подальших робіт у напрямку селекції високопродуктивних форм *Arnica montana* L. та застосування біотехнологічних методів розмноження.

6. Оптимізація умов вирощування *Arnica montana* L. дозволяє значно підвищити концентрацію цільових біоактивних сполук та біологічну ефективність отриманих екстрактів, що відкриває перспективи для фармацевтичного виробництва на основі вітчизняної сировини.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати цього дослідження мають прикладне значення для фармацевтичної та аграрної галузей, зокрема у сфері вирощування лікарських рослин. Запропонована модель оптимізації агрофакторів може бути впроваджена у виробництво стандартизованої сировини з високим вмістом фармакологічно активних сполук. Одержані дані можуть слугувати науковою основою для розробки агротехнічних регламентів вирощування *Arnica montana* L. в умовах органічного землеробства.

Окрім цього, результати дослідження можуть бути використані в селекційних програмах для виведення високопродуктивних форм арніки з підвищеним вмістом геленаліну. Також вони є цінними для подальших досліджень у сфері біотехнологій, зокрема щодо застосування мікроклонального розмноження та культивування *in vitro* як альтернативних методів отримання біоактивної сировини. У перспективі, ці підходи сприятимуть як збереженню природних популяцій рідкісного виду, так і підвищенню фармакологічної ефективності готової продукції. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вивчення генетичних ліній арніки з підвищеним вмістом геленаліну та впровадження біотехнологічних методів культивування.

Література

1. Державна стратегія управління охороною лікарських рослин. Мінприроди України. Київ : Логос. 2020. 112 с.
2. Курило В. П. Лікарські рослини України. Київ: Урожай, 2017. 356 с.
3. Гуцал С. І., Павлюк Р. В. Фармакогнозія : підручник. Вінниця: Нова Книга, 2019. 416 с.
4. European Medicines Agency. Assessment report on *Arnica montana* L., flos. EMA/HMPC/7682. 2013.
5. Heinrich M., Barnes J., Gibbons S. Fundamentals of Pharmacognosy and Phytotherapy. 3rd ed. London: Elsevier, 2018. 336 p.
6. Кириленко О. М. Оптимізація умов культивування рідкісних лікарських рослин. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 5. С. 45–52.
7. Стратегія збереження біорізноманіття в Україні до 2030 року. Київ: Міндовкілля, 2021. 96 с.
8. Шевчук Л. М., Ковальчук Н. І. Біологічно активні речовини лікарських рослин. Львів: Афіша, 2016. 280 с.

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 15.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025