

<https://doi.org/10.15407/frg2025.04.348>

УДК 577.1

## ОСОБЛИВОСТІ ДІЇ НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА НА РІСТ І БІОАКТИВНІСТЬ РОСЛИН *VIDENS PILOSA* L.

Н.А. МАТВЄЄВА, В.П. ДУПЛІЙ, Я.І. РАТУШНЯК

*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії Національної академії наук України  
03143 Київ, вул. Академіка Заболотного, 148  
e-mail: dupliyv@icbge.org.ua*

Значний прогрес у нанотехнологіях за останні роки пов'язаний зі зростаючою потребою в нових методах синтезу наноматеріалів і розширенням сфер їхнього застосування. Один із таких підходів — «зелений» синтез наночастинок (НЧ) металів із використанням рослинних екстрактів, які мають відновлювальні та стабілізаційні властивості. У сільському господарстві наночастинок срібла (AgNPs) привертають увагу завдяки антимікробній дії та здатності стимулювати ріст рослин. Метою дослідження було визначити, як AgNPs, отримані шляхом «зеленого» синтезу, впливають на ріст причепи (*Bidens pilosa* L.), накопичення флавоноїдів та антиоксидантну (антирадикальну) активність рослинних екстрактів. Рослини субкультивували упродовж чотирьох тижнів у стерильних контейнерах у середовищі з 5 мл/л або 10 мл/л AgNPs. Концентрація 5 мл/л не мала помітного впливу на ріст, тоді як 10 мл/л спричиняла часткове пригнічення росту та зменшення маси пагонів порівняно з контролем. Це свідчить про потенційну токсичність AgNPs для рослин, особливо щодо розвитку пагонів, хоча ріст коренів залишався незмінним. AgNPs впливали на метаболізм рослин, підвищуючи вміст флавоноїдів й антирадикальну активність. Імовірно, їхня наявність спричинює стрес, що стимулює синтез флавоноїдів як захисну реакцію. Оскільки помірна концентрація не пригнічувала ріст рослин, додавання AgNPs можна розглядати як перспективну стратегію для підвищення накопичення цінних сполук у *B. pilosa*.

**Ключові слова:** *Bidens pilosa* L., наночастинок срібла, флавоноїди, антиоксидантна активність.

*Bidens pilosa* L. (череда волосиста, причепа) належить до родини Asteraceae. Рослини цього виду зустрічаються у тропічному та субтропічному регіонах, однак їх можна знайти і у помірних широтах. Причепа застосовується у фітотерапії та була визнана ефективною в лікуванні багатьох хвороб, а саме: малярії, грипу, раку, головного болю, запалення, ран, стенокардії, метаболічного синдрому, імунологічних розладів, а також травних й інфекційних захворювань. Зокрема встановлено, що екстракти з рослин мають протимікробну активність. Цей напрям був у центрі уваги дослідників останні 30

Цитування: Матвєєва Н.А., Дуплій В.П., Ратушняк Я.І. Особливості дії наночастинок срібла на ріст і біоактивність рослин *Bidens pilosa* L. *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. 57, № 4. С. 348–358. <https://doi.org/10.15407/frg2025.04.348>

років [1–9]. Зважаючи на підтверджену антимікробну активність, рослини череди волосистої є перспективними стосовно можливості використання її екстрактів для створення екологічно безпечної антибіоплівки як антимікробного засобу, зокрема проти золотистого стафілокока [10]. Рослини показали також протівірусну (наприклад, проти вірусу герпеса) [11], антигельмінтну [12], протидіабетичну [13–16], протипухлинну [17–19], протизапальну [20–22], антиоксидантну активності [23–25], стимулювали синтез інтерферонів та мали імуномодельовальну активність [26–27].

Було проведено фітохімічний та фармакологічний аналіз *B. pilosa* з використанням коренів, листків або цілих надземних частин [28–30]. Проведено комплексний метаболомний аналіз рослин. Різні частини рослин мали схожі профілі метаболітів, однак олігоцукриди, дисахариди та жирні кислоти виявилися набагато поширенішими в коренях, ніж в інших частинах. Значну кількість моногліцеридів виявлено в стеблі. Кількість пептидів і дитерпеноїдів була вищою у листках і коренях [5]. Аналіз ВЕРХ показав, що галова кислота, кафтарова кислота, катехін, хлорогенова кислота, епікатехін і кавова кислота наявні в аналізованих рослинних матеріалах [5]. Вірогідно, лікувальний ефект екстрактів з череди волосистої зумовлений синтезом біологічно активних сполук, наприклад, поліацетиленів і флавоноїдів [31, 32].

Нанотехнології дедалі більше привертають увагу дослідників різних галузей, зокрема медицини і сільського господарства. Такий інтерес до сучасних технологій пов'язаний з великими можливостями застосування наночастинок (НЧ) металів, особливо отриманих «зеленим» синтезом з використанням рослинних екстрактів [33–35]. Наночастишки срібла (AgNPs) «рослинного» походження демонструють антибактеріальні властивості, що свідчить про їхнє можливе застосування в різних біомедичних напрямках. У процесі «зеленого» синтезу поліфеноли й білки природних матеріалів діють як ефективні відновники, сприяють переходу іонів срібла у стан з нижчою валентністю. Порівняно з традиційними хімічними та фізичними методами, «зелений» синтез має низку переваг, таких як: нетоксичність, відсутність забруднювальних речовин, економічну ефективність та екологічну безпечність. Малий розмір НЧ (до 100 нм) забезпечує їхню легку проникність через клітинні мембрани. Біосумісність та низька токсичність таких НЧ дає можливість взаємодіяти з біологічними системами, полегшує їхнє проникнення в клітини й подальшу внутрішньоклітинну активність [35].

AgNPs завдяки своїм унікальним характеристикам останнім часом стали цікавими і для сільського господарства [36]. Вони мають антимікробні властивості, а також можуть позитивно впливати на ріст рослин. Однак важливо коригувати умови застосування та дозування, оскільки різні види рослин відрізняються рівнем чутливості до AgNPs.

Метою нашої роботи було дослідити вплив AgNPs, отриманих шляхом «зеленого» синтезу, на ріст рослин *B. pilosa* L., а також на накопичення флавоноїдів та антирадикальну активність екстрактів із цих рослин.

## Методика

*Рослинний матеріал.* У роботі використовували рослини причепи *V. pilosa* L. з колекції Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, які субкультивували *in vitro* на поживному середовищі Мурасіге та Скуга (Duchefa, Netherland) зі зменшеним удвічі вмістом компонентів ( $\frac{1}{2}$ МС). Рослини вирощували у термостатованому приміщенні за температури 24 °С та 16-годинного освітлення.

*Вирощування рослин.* Для роботи використовували AgNPs, отримані з використанням екстракту з трансгенних коренів *Artemisia annua*, як описано у статті [37]. Для визначення дії AgNPs на ріст рослин у ємності додавали поживне середовище  $\frac{1}{2}$ МС та колоїдний розчин НЧ у концентрації 5 і 10 мл/л. На пластинки з отворами, які були розміщені у ємностях для вирощування рослин, висаджували верхівкові частини пагонів причепи заввишки 2 см. Рослини культивували за температури 24 °С та 16-годинного освітлення упродовж чотирьох тижнів.

*Визначення вмісту флавоноїдів та антирадикальної активності.* Для приготування екстрактів використовували 70 %-ний етанол. Вміст флавоноїдів визначали модифікованим методом у реакції з хлоридом алюмінію [38]. Оптичну густину зразків вимірювали за допомогою спектрофлуориметра Fluorat-02 Rapogama за  $\lambda = 510$  нм. Вміст флавоноїдів оцінювали в мг/г сирової речовини у рутиновому еквіваленті (РЕ) за допомогою калібрувального графіка  $C = 1,764 OD$ ,  $R^2 = 0,9987$ .

Антирадикальну активність визначали, використовуючи стандартну реакцію з 2,2-дифеніл-1-пікрилгідразильним радикалом (DPPH, Sigma) [39]. Нейтралізацію радикала DPPH\* екстрактом (RSA) визначали за формулою:  $RSA = 100(A_0 - A_1)/A_0$ , де  $A_0$  — оптична густина DPPH\*;  $A_1$  — оптична густина зразка в реакції. Еквівалентну концентрацію ( $EC_{50}$ ) розраховували як масу коренів, необхідну для половинної нейтралізації радикала DPPH\* (RSA = 50 %).

*Статистичний аналіз.* Дослідження проводили у шістьох повтореннях. Дані проаналізовані на статистичну значущість за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу з наступним тестом Тьюкі. Групи вимірів перевіряли на нормальний розподіл методом Шапіро-Уїлка та на гомогенність дисперсії тестом Левене. Значення вважалися значущими за  $p < 0,05$ . Метод лінійної регресії застосовували для розрахунку калібрувальної залежності концентрації рутину від оптичної густини та визначення антиоксидантної активності ( $EC_{50}$ ). Результати були представлені як середнє та стандартна похибка ( $SE$ ).

## Результати та обговорення

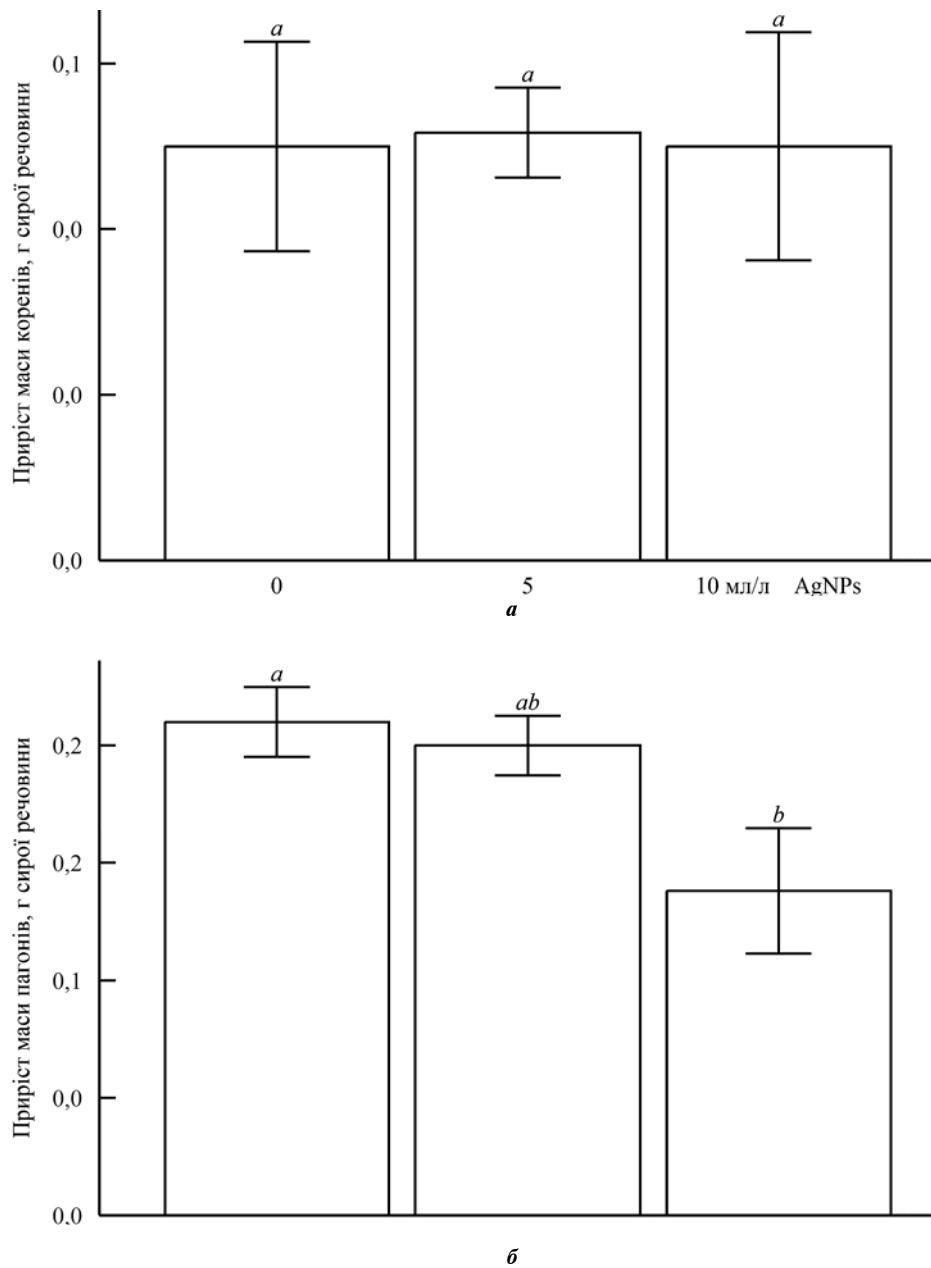
Через чотири тижні вирощування рослин з AgNPs не було виявлено візуальних ознак їх пошкодження або загибелі (рис. 1). Важливо, що маса коренів у контрольному ( $0,050 \pm 0,013$  г) та експериментальних ( $0,052 \pm 0,005$  і  $0,050 \pm 0,014$  г) варіантах істотно не різнилася (рис. 2, а). Маса пагонів рослин, які вирощували з додаванням 5 мл/л AgNPs ( $0,200 \pm 0,013$ ), також істотно не відрізнялась від маси контрольних рослин ( $0,21 \pm 0,015$  г, рис. 2, б). Однак вища концентрація AgNPs (10 мл/л) призвела до часткового інгібування росту пагонів ( $0,138 \pm 0,027$  г).



**Рис. 1.** Рослини причепи, які вирощували упродовж чотирьох тижнів на середовищі  $\frac{1}{2}$ МС:

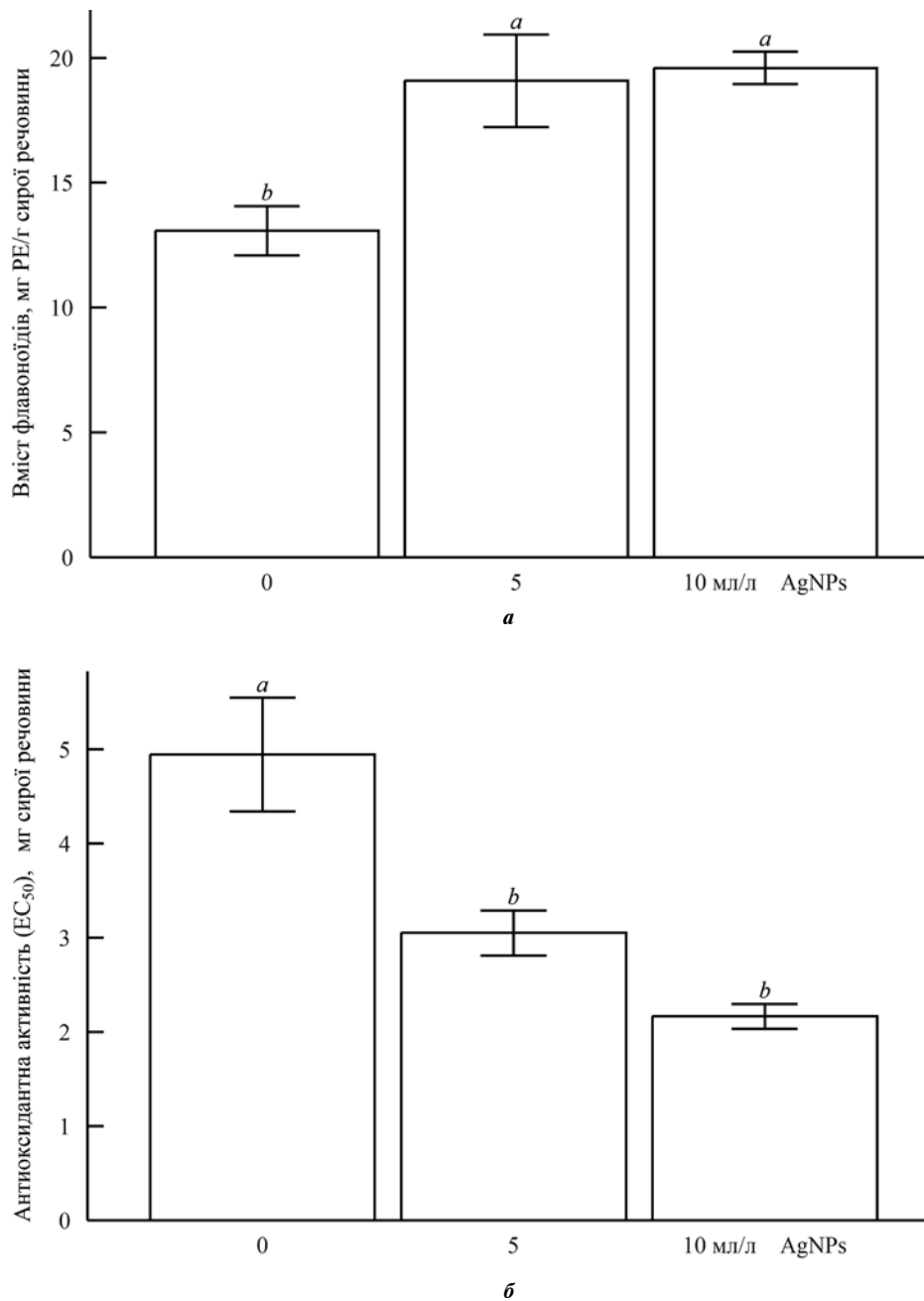
*a* — контроль; *б* — з додаванням 5 мл/л; *в* — 10 мл/л колоїдного розчину AgNPs

Наявність AgNPs у середовищі сприяла збільшенню вмісту флавоноїдів (рис. 3, *a*), причому воно спостерігалось як за нижчої концентрації НЧ (5 мл/л), так і за удвічі вищої (10 мл/л). Зокрема, у цих варіантах вміст флавоноїдів становив  $19,08 \pm 1,85$  та  $19,60 \pm 0,65$  мг РЕ/г сирової речовини відповідно, що істотно перевищує показники контрольного варіанта без додавання НЧ ( $13,07 \pm 0,99$  мг РЕ/г сирової речовини).



**Рис. 2.** Приріст маси коренів (а) і пагонів (б) рослин причепи, які вирощували на середовищі  $\frac{1}{2}$ МС з додаванням або без колоїдного розчину AgNPs

Протирадикальна активність (рис. 3, б) була найнижчою в екстракті контрольних рослин ( $EC_{50}$   $4,95 \pm 0,60$  г сирової речовини). Водночас у екстрактів з рослин, вирощених на середовищі з AgNPs, вона була істотно вищою: за концентрації 5 мл/л становила  $3,05 \pm 0,24$ , а за 10 мл/л —  $2,17 \pm 0,13$  г сирової речовини. Ці результати узгоджуються з підвищеним вмістом флавоноїдів у відповідних екстрактах порівняно з контролем, що свідчить про вагому роль флавоноїдів у механізмах протирадикальної активності зразків.



**Рис. 3.** Вміст флавоноїдів (а) та антиоксидантна активність (б) екстрактів з рослин причепи, які вирощували на середовищі  $\frac{1}{2}$ МС з додаванням і без колоїдного розчину AgNPs

Виявлено дозозалежний вплив AgNPs на рослини череди волосистої. Збільшення концентрації наночастинок до 10 мл/л пригнічувало ріст пагонів, проте не впливало на розвиток кореневої системи рослин. Разом з тим, додавання НЧ до поживного середовища сприяло підвищенню загального вмісту флавоноїдів порівняно з контролем і, відповідно, до підвищення рівня антирадикальної активності.

Вважається, що AgNPs загалом мають як позитивний, так і негативний вплив на ріст і розвиток рослин. Специфіка впливу наносрібла на рослини залежить від фізико-хімічних характеристик НЧ, а саме: їх розміру, концентрації, хімічного складу, дзета-потенціалу, стабільності та форми [40, 41]. Зокрема, Krishnaraj та співавт. [42] вивчали вплив біогенних НЧ срібла на вирощені у гідропонній культурі рослини *Vasora tonnieri*. Виявлено їхній позитивний вплив на проростання насіння, синтез білка та вуглеводів. Одночасно спостерігали зменшення вмісту фенолів. AgNPs збільшували морфологічні (довжина пагона та кореня, площа листків) й біохімічні (хлорофіл, вміст вуглеводів і білка, антиоксидантні ферменти) характеристики рослин *Brassica juncea*, *Phaseolus vulgaris* та *Zea mays* [43, 44].

Використання НЧ під час вирощування саджанців гуньби (*Trigonella foenum-graecum* L.) сприяло істотному покращенню ростових показників, зокрема спостерігалось значне збільшення кількості листків, довжини кореня, пагона й загальної маси рослин порівняно з контрольними умовами. Крім того, НЧ стимулювали синтез діосгеніну [45]. Однак НЧ можуть мати також негативний вплив на ріст і фотосинтез рослини [46]. Gruyer та співавт. [47] повідомляли, що НЧ позитивно або негативно впливали на видовження коренів залежно від виду рослини. Дослідженнями було відзначено, що НЧ більшого розміру (200–800 нм) позитивно впливають на ріст рослин [45], НЧ меншого розміру (35–40 нм) також не пригнічували ріст коренів і пагонів різних рослин [48]. Разом з тим, AgNPs розміром менше 30 нм за використання у відносно високих концентраціях пригнічували ріст рослин [49, 50]. Дозозалежний вплив концентрації НЧ також продемонстровано у дослідженнях Al-Huqail та співавт. [51], зокрема, підвищення концентрації НЧ інгібувало ріст рослин *Lupinus termis*.

У нашій роботі було помічено значуще пригнічення росту пагонів (на 34 %) під впливом більшої концентрації НЧ. Вплив на ріст пагонів за умов меншої та обох концентрацій на ріст коренів не виходив за межі статистичної похибки. Можливо, це зумовлено саме малими розмірами НЧ. Як показало наше попереднє дослідження [37], значний відсоток цих НЧ припадав саме на розмір 5–20 нм.

AgNPs можуть впливати не тільки на морфологічні параметри рослин, а й на синтез їхніх метаболітів. Так, вміст лікопіну в плодах томатів, оброблених НЧ, зріс на 77,8 % [52]. Подібна тенденція спостерігалася і щодо концентрації флавоноїдів і загального білка, рівень яких у дослідних рослинах перевищував контрольні показники до 53 та 50 %, відповідно. Як видно, дані щодо флавоноїдів добре узгоджуються з нашим дослідженням, де збільшення вмісту флавоноїдів становило 46 і 50 % для меншої та більшої концентрації НЧ, відповідно.

Таким чином, не виявлено значущих відмінностей у прирості маси коренів рослин усіх варіантів. НЧ у низькій концентрації (5 мл/л) не впливали на приріст пагонів причепи. Додавання AgNPs у більшій концентрації (10 мл/л) спричинювало часткове інгібування росту рослин і зменшення середньої маси пагонів порівняно з контролем. Вірогідно, така концентрація колоїдного розчину AgNPs є токсичною для рослин причепи. НЧ впливали на метаболізм рослин, збільшуючи загальний вміст флавоноїдів та підвищуючи рівень антирадикальної ак-

тивності. Імовірно, наявність AgNPs у поживному середовищі можна розглядати як стрес, а активізацію синтезу флавоноїдів і підвищення відповідної біоактивності вважати захисною реакцією рослин на дію стресового чинника. Водночас, оскільки помірна концентрація НЧ не пригнічувала ріст рослин, додавання таких наноматеріалів можна вважати способом збільшення вмісту цінних сполук (флавоноїдів) у рослинах причепи волосистої.

*Робота була частково підтримана Національною академією наук України в межах проекту «Фізіолого-генетична та епігенетична складові функціонування гетерологічних генів в біотехнологічних рослинних системах» (Державний реєстраційний номер: 0125U000650).*

## REFERENCES

1. Tobinaga, S., Sharma, M.K., Aalbersberg, W.G., Watanabe, K., Iguchi, K., Narui, K., Sasatsu, M. & Waki, S. (2009). Isolation and identification of a potent antimalarial and antibacterial polyacetylene from *Bidens pilosa*. *Planta Med.*, 75, No. 6, pp. 624-628. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1185377>
2. Silva, J.J., Cerdeira, C.D., Chavasco, J.M., Cintra, A.D.P., Silva, C.B.P., Mendonça, A.N., Ishikawa, T., Boriollo, M.F.G. & Chavasco, J.K. (2014). In vitro screening antibacterial activity of *Bidens pilosa* Linné and *Annona crassiflora* Mart. against oxacillin resistant *Staphylococcus aureus* (ORSA) from the aerial environment at the dental clinic. *Rev. Ins. Med. Trop. Sao Paulo*, 56, No. 4, pp. 333-340. <https://doi.org/10.1590/s0036-46652014000400011>
3. Ashafa, A.T.O. & Afolayan, A.J. (2009). Screening the root extracts from *Biden pilosa* L. var. *radiata* (Asteraceae) for antimicrobial potentials. *J. Med. Plants Res.*, 3, No. 8, pp. 568-572.
4. Namuga, C., Muwonge, H., Lubwama, M., Nakyejwe, J., Sekulima, T. & Kirabira, J.B. (2022). Antibacterial activities of *Bidens pilosa* L, *Hoslundia opposita* Vahl, and *Ageratum conyzoides* L against some common wound pathogens. *African J. Pharm. Pharmacol.*, 16, No. 5, pp. 64-78. <https://doi.org/10.5897/AJPP2022.5296>
5. Angelini, P., Matei, F., Angeles, G., Roberto, F., Pellegrino, M., Vuguziga, L., Venanzoni, R., Tirillini, B., Emiliani, C., Orlando, G., Menghini, L. & Ferrante, C. (2021). Metabolomic profiling, antioxidant and antimicrobial activity of *Bidens pilosa*. *Processes*, 9, No. 6, 903. <https://doi.org/10.3390/pr9060903>
6. Khan, M.R., Kihara, M. & Omoloso, A.D. (2001). Anti-microbial activity of *Bidens pilosa*, *Bischofia javanica*, *Elmerillia papuana* and *Sigesbekia orientalis*. *Fitoterapia*. 72, No. 6, pp. 662-665. [https://doi.org/10.1016/s0367-326x\(01\)00261-1](https://doi.org/10.1016/s0367-326x(01)00261-1)
7. Deba, F., Xuan, T.D., Yasuda, M. & Tawata, S. (2008). Chemical composition and antioxidant, antibacterial and antifungal activities of the essential oils from *Bidens pilosa* Linn. var. *radiata*. *Food Control*, 19, pp. 346-352. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.04.011>
8. Shandukani, P.D., Tshidino, S.C., Masoko, P. & Moganedi, K.M. (2018). Antibacterial activity and in situ efficacy of *Bidens pilosa* Linn and *Dichrostachys cinerea* Wight et Arn extracts against common diarrhoea-causing waterborne bacteria. *BMC Com. Alternat. Med.*, 18, No. 1, p. 171. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2230-9>
9. Mohamed, S.A. & Mathew, C. (2021). Antimicrobial activity of *Bidens pilosa* leaves extracts against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Tanz. Veter. J.*, 38, pp. 20-24. <https://doi.org/10.4314/tvj.v38i1.4s>
10. Piccinin, I.N., Zielinski, A.A.F. & Kuhnen, S. (2023). Invasive plant *Bidens pilosa* as an ecofriendly antibiofilm-antimicrobial against *Staphylococcus aureus* for bovine mastitis control. *Organic Agrocul.*, 13, No. 1, pp. 73-82. <https://doi.org/10.1007/s13165-022-00415-0>
11. Nakama, S., Tamaki, K., Ishikawa, C., Tadano, M. & Mori, N. (2012). Efficacy of *Bidens pilosa* extract against herpes simplex virus infection in vitro and in vivo. *Evid-Based Compl. Alt. Med.* <https://doi.org/10.1155/2012/413453>.
12. Gertrude, M.T., Poné, J.W., Claire, K.M., Jeannette, Y. Alidou, M.N. & Mbida, M. (2014). In vitro anthelmintic activity of *Bidens pilosa* Linn. (Asteraceae) leaf extracts against *Haemonchus contortus* eggs and larvae. *Europ. J. Med. Plants*, 4, No. 11, pp. 1282-1292. <https://doi.org/10.9734/EJMP/2014/10421>

13. Hsu, Y.J., Lee, T.H., Chang, C.L.T., Huang, Y.T. & Yang, W.C. (2009). Anti-hyperglycemic effects and mechanism of *Bidens pilosa* water extract. *J. Ethnopharmacol.*, 122, No. 2, pp. 379-383. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.12.027>
14. Yang, W.C. (2014). Botanical, pharmacological, phytochemical, and toxicological aspects of the antidiabetic plant *Bidens pilosa* L. *Evid-Based Compl. Alt. Med.*, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1155/2014/698617>
15. Chang, S.L., Chang, C.L.T., Chiang, Y.M. Hsieh, R.H., Tzeng, C.R., Wu, T.K., Sytwu, H.K., Shyur, L.F. & Yang, W.C. (2004). Polyacetylenic compounds and butanol fraction from *Bidens pilosa* can modulate the differentiation of helper T cells and prevent autoimmune diabetes in non-obese diabetic mice. *Planta Med.*, 70, No. 11, pp. 1045-1051. <https://doi.org/10.1055/s-2004-832645>
16. Chien, S.C., Young, P.H., Hsu, Y.J., Chen, C.H., Tien, Y.J., Shiu, S.Y., Li, T.H., Yang, C.W., Marimuthu, P., Tsai, L.F.L. & Yang, W.C. (2009). Anti-diabetic properties of three common *Bidens pilosa* variants in Taiwan. *Phytochem.*, 70, No. 10, pp. 1246-1254. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.07.011>
17. Sundararajan, P., Dey, A., Smith, A., Doss, A.G., Rajappan, M. & Natarajan, S. (2005). Studies of anticancer and antipyretic activity of *Bidens pilosa* whole plant. *African Health Sci.*, 6, No. 1, pp. 27-30. <https://doi.org/10.5555/afhs.2006.6.1.27>
18. Kwiecinski, M.R., Benelli, P., Felipe, K.B., Correia, J.F.G., Pich, C.T., Ferreira, S.R.S., Ferreira & Pedrosa, R.C. (2011). SFE from *Bidens pilosa* Linné to obtain extracts rich in cytotoxic polyacetylenes with antitumor activity. *J. Supercrit. Fluids*, 56, No. 3, pp. 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2010.12.011>
19. Chang, J.S., Chiang, L.C., Chen, C.C., Liu, L.T., Wang, K.C. & Lin, C.C. (2001). Antileukemic activity of *Bidens pilosa* L. var. *minor* (Blume) Sherff. and *Houttuynia cordata* Thunb. *American J. Chinese Med.*, 29, No. 2, pp. 303-312. <https://doi.org/10.1142/S0192415X01000320>
20. Fotso, A.F., Longo, F., Djomeni, P.D., Kouam, S.F., Spittler, M., Dongmo, A.B. & Savineau, J.P. (2014). Analgesic and antiinflammatory activities of the ethyl acetate fraction of *Bidens pilosa* (Asteraceae). *Inflammopharmacol.*, 22, No. 2, pp. 105-114. <https://doi.org/10.1007/s10787-013-0196-2>
21. Nthulane, N.P., Mosebi, S., Tshikalange, T.E., Nyila, M.A. & Mankga, L.T. (2020). Antimicrobial and anti-inflammatory activities of selected medicinal plants against pathogens causing sexually transmitted infections. *J. Herbmed. Pharmacol.*, 9, pp. 130-137. <https://doi.org/10.34172/JHP.2020.17>
22. Horiuchi, M. & Seyama, Y. (2006). Antiinflammatory and antiallergic activity of *Bidens pilosa* L. var. *radiata* SCHERFF. *J. Health Sci.*, 52, No. 6, pp. 711-717. <https://doi.org/10.1248/jhs.52.711>
23. Yang, H.L., Chen, S.C., Chang, N.W. Chang, J.M., Lee, M.L., Tsai, P.C., Fu, H.H., Kao, W.W., Chiang, H.C., Wang, H.H. & Hseu, Y.C. (2006). Protection from oxidative damage using *Bidens pilosa* extracts in normal human erythrocytes. *Food Chem. Toxicol.*, 44, No. 9, pp. 1513-1521. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.04.006>
24. Abajo, C., Boffill, M.A., Campo, J.D., Mendez, M.A., Gonzalez, Y., Mitjans, M. & Vinardell, M.P. (2004). In vitro study of the antioxidant and immunomodulatory activity of aqueous infusion of *Bidens pilosa*. *J. Ethnopharmacol.*, 93, No. 2-3, pp. 319-323. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.03.050>
25. Muchuweti, M., Mupure, C., Ndhala, A., Murenje, T. & Benhura, M.A.N. (2007). Screening of antioxidant and radical scavenging activity of *Vigna unguiculata*, *Bidens pilosa* and *Cleome gynandra*. *Amer. J. Food Technol.*, 2, No. 3, pp. 161-168. <https://doi.org/10.3923/ajft.2007.161.168>
26. Chang, S.L., Chiang, Y.M., Chang, C.L.T., Yeh, H.H., Shyur, L.F., Kuo, Y.H., Wu, T.K. & Yang, W.C. (2007). Flavonoids, centaurein and centaureidin, from *Bidens pilosa*, stimulate IFN-gamma expression. *J. Ethnopharmacol.*, 112, No. 2, pp. 232-236. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.03.001>
27. Rodríguez-Mesa, X.M., Bolaños, L.A.C., Mejía, A., Pombo, L.M., Costa, G.M. & González, S.P.S. (2023). Immunomodulatory properties of natural extracts and compounds derived from *Bidens pilosa* L. *Pharmaceutics*, 15, No. 5, 1491. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15051491>
28. Brandão, M.G., Krettli, A.U., Soares, L.S., Nery, C.G. & Marinuzzi, H.C. (1997). Antimalarial activity of extracts and fractions from *Bidens pilosa* and other *Bidens* species (Asteraceae) correlated with the presence of acetylene and flavonoid compounds. *J.*

- Ethnopharmacol., 57, No. 2, pp. 131-138. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(97\)00060-3](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(97)00060-3)
29. Kumari, P., Misra, K., Sisodia, B.S., Faridi, U., Srivastava, S., Luqman, S., Darokar, M.P., Negi, A.S., Gupta, M.M., Singh, S.C. & Kumar, J.K. (2009). A promising anti-cancer and antimalarial component from the leaves of *Bidens pilosa*. *Planta Medica*, 75, No. 1, pp. 59-61. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1088362>
  30. Kwiecinski, M.R., Felipe, K.B., Correia, J.F., Ferreira, E.A., Rossi, M.H. de Moura Gatti, F., Filho, D.W. & Pedrosa, R.C. (2011). Brazilian *Bidens pilosa* Linné yields fraction containing quercetin-derived flavonoid with free radical scavenger activity and hepatoprotective effects. *Lib. J. Med.*, 6, 5651. <https://doi.org/10.3402/ljm.v6i0.5651>
  31. Silva, F.L., Fischer, D.C., Tavares, J.F., Silva, M.S., de Athayde-Filho, P.F. & Barbosa-Filho, J.M. (2011). Compilation of secondary metabolites from *Bidens pilosa* L. *Molecules*, 16, No. 2, pp. 1070-1102. <https://doi.org/10.3390/molecules16021070>
  32. Xuan, T.D. & Khanh, T.D. (2016). Chemistry and pharmacology of *Bidens pilosa*: an overview. *J. Pharmaceut. Inv.*, 46, No. 2, pp. 91-132. <https://doi.org/10.1007/s40005-016-0231-6>
  33. Fahim, M., Shahzaib, A., Nishat, N., Jahan, A., Bhat, T.A. & Inam, A. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles: a comprehensive review of methods, influencing factors, and applications. *JCIS Open*, 16, 100125. <https://doi.org/10.1016/j.jciso.2024.100125>
  34. Pryshchepa, O., Pomastowski, P. & Buszewski, B. (2020). Silver nanoparticles: synthesis, investigation techniques, and properties. *Adv. Coll. Int. Sci.*, 284, 102246. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102246>
  35. Khare, S., Singh, R.K. & Prakash, O. (2022). Green synthesis, characterization and biocompatibility evaluation of silver nanoparticles using radish seeds. *Res. Chem.*, 4, 100447. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100447>
  36. Alfosea-Simón, F.J., Burgos, L. & Alburquerque, N. (2025). Silver nanoparticles help plants grow, alleviate stresses, and fight against pathogens. *Plants*, 14, No. 3, 428. <https://doi.org/10.3390/plants14030428>
  37. Bohdanovych, T., Kuzema, P., Anishchenko, V., Duplij, V., Kharchuk, M., Lyzhniuk, V., Shakhovskiy, A. & Matvieieva, N. (2025). Comparison of silver and gold nanoparticles green synthesis by *Artemisia annua* hairy root extracts. *Biology Open*, 14, No. 3. <https://doi.org/10.1242/bio.061739>
  38. Pekal, A. & Pyrzyńska, K. (2014). Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. *Food Anal. Meth.*, 7, pp. 1776-1782. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9814-x>
  39. Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT — Food Sci. Technol.*, 28, No. 1, pp. 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
  40. Mirzajani, F., Askari, H., Hamzelou, S., Farzaneh, M. & Ghassempour, A. (2013). Effect of silver nanoparticles on *Oryza sativa* L. and its rhizosphere bacteria. *Ecotoxicol. Env. Safet.*, 88, pp. 48-54. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.10.018>
  41. Tripathi, D.K., Gaur, S., Singh, S., Singh, S., Pandey, R., Singh, V.P., Sharma, N.C., Prasad, S.M., Dubey, N.K. & Chauhan, D.K. (2017). An overview on manufactured nanoparticles in plants: uptake, translocation, accumulation and phytotoxicity. *Plant Physiol. Biochem.*, 110, pp. 2-12. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.07.030>
  42. Krishnaraj, C., Ganeshan, J.E., Rajan, R. & Kalaichelvan, P.T. (2012). Effect of biologically synthesized silver nanoparticles on *Bacopa monnieri* (Linn.) Wettst. plant growth metabolism. *Process Biochem.*, 47, No. 4, pp. 651-658. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.01.006>
  43. Sharma, P., Bhatt, D., Zaidi, M.G.H., Saradhi, P.P., Khanna, P.K. & Arora, S. (2012). Silver nanoparticle-mediated enhancement in growth and antioxidant status of *Brassica juncea*. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 167, No. 8, pp. 2225-2233. <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9759-8>
  44. Salama, H.M.H. (2012). Effects of silver nanoparticles in some crop plants, common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.). *Int. Res. J. Biotechnol.*, 3, No. 10, pp. 190-197.
  45. Jasim, B., Thomas, R., Mathew, J. & Radhakrishnan, E.K. (2016). Plant growth and diosgenin enhancement effect of silver nanoparticles in Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Saud. Pharmaceut. J.*, 25, No. 3, pp. 443-447. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2016.09.012>
  46. Tripathi, D.K., Singh, S., Singh, S., Srivastava, P.K., Singh, V.P., Singh, S., Prasad, S.M., Singh, P.K., Dubey, N.K., Pandey, A.C. & Chauhan, D.K. (2017). Nitric oxide

- alleviates silver nanoparticles (AgNps)-induced phytotoxicity in *Pisum sativum* seedlings. *Plant Physiol. Biochem.*, 110, pp. 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.06.015>
47. Gruyer, N., Dorais, M., Bastien, C., Dassylva, N. & Triffault-Bouchet, G. (2014). Interaction between silver nanoparticles and plant growth. *Acta Horticult.*, 1037, pp. 795-800. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1037.105>
48. Pallavi, Menta, M.C.M., Srivastava, R., Arora, S. & Sharma, A.K. (2016). Impact assessment of silver nanoparticles on plant growth and soil bacterial diversity. *3 Biotech*, 6. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0567-7>
49. Dimkpa, C.O., McLean, J.E., Martineau, N., Britt, D.W., Haverkamp, R. & Anderson, A.J. (2013). Silver nanoparticles disrupt wheat (*Triticum aestivum* L.) growth in a sand matrix. *Env. Sci. Technol.*, 47, No. 2, pp. 1082-1090. <https://doi.org/10.1021/es302973y>
50. Vinkovic, T., Novák, O., Strnad, M., Goessler, W., Jurašin, D.D., Paradiković, N. & Vrček, I.V. (2017). Cytokinin response in pepper plants (*Capsicum annuum* L.) exposed to silver nanoparticles. *Env. Res.*, 156, pp. 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.015>
51. Al-Huqail, A.A., Hatata, M.M., AL-Huqail, A.A. & Ibrahim, M.M. (2018). Preparation, characterization of silver phyto nanoparticles and their impact on growth potential of *Lupinus termis* L. seedlings. *Saud. J. Biol. Sci.*, 25, Vol. 2, pp. 313-319. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.08.013>
52. Ashraf, H., Anjum, T., Ahmad, I.S., Ahmed, R., Aftab, Z.E. & Rizwana, H. (2025). Phytofabricated silver nanoparticles unlock new potential in tomato plants by combating wilt infection and enhancing plant growth. *Sci. Rep.*, 15, No. 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89724-4>

Received 03.06.2025

#### FEATURES OF THE EFFECT OF SILVER NANOPARTICLES ON THE GROWTH AND BIOACTIVITY OF *BIDENS PILOSA* L. PLANTS

*N.A. Matvieieva, V.P. Duplij, Ya.I. Ratushniak*

Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine  
148 Akademika Zabolotnoho St., Kyiv, 03143, Ukraine  
e-mail: duplijv@icbge.org.ua

Significant progress in nanotechnology in recent years has been driven by the growing need for new methods of synthesizing nanomaterials and expanding their applications. One such approach is the «green» synthesis of metal nanoparticles (NPs) using plant extracts, which possess both reducing and stabilizing properties. In agriculture, silver nanoparticles (AgNPs) are attracting attention due to their antimicrobial effect and ability to stimulate plant growth. The aim of the study was to evaluate the effects of green-synthesized AgNPs on the growth of *Bidens pilosa* L., flavonoid accumulation, and antiradical activity of plant extracts. Plants were subcultured in sterile containers in a medium supplemented with either 5 mL/L or 10 mL/L AgNPs for four weeks. The 5 mL/L concentration had no significant effect on growth, whereas 10 mL/L caused partial inhibition of growth and a reduction in shoot weight compared to the control group. This indicates the potential toxicity of AgNPs to plants, particularly in terms of shoot development, while root growth remained unaffected. AgNPs influenced plant metabolism by increasing flavonoid content and antiradical activity. Their presence likely induces abiotic stress, stimulating flavonoid synthesis as a defense response. Since moderate concentration did not hinder plant growth, AgNP supplementation may be considered a promising strategy to enhance the accumulation of valuable compounds in *B. pilosa*.

*Key words:* *Bidens pilosa* L., silver nanoparticles, flavonoid content, antiradical activity.

#### ORCID

**Н.А. МАТВЄЄВА** — Nadiia Matvieieva <https://orcid.org/0000-0002-4877-5222>

**В.П. ДУПЛІЙ** — Volodymyr Duplij <https://orcid.org/0000-0002-7479-7257>

**Я.І. РАТУШНЯК** — Yakiv Ratushniak <https://orcid.org/0000-0003-3708-1898>