

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2022.05.094>

УДК 581.6

О.Є. Смірнов^{1,2}, <https://orcid.org/0000-0002-2293-5961>

П.П. Зелена¹, <https://orcid.org/0000-0001-6746-2988>

Ю.М. Юмина¹, <https://orcid.org/0000-0002-4568-1415>

В.Є. Калиновський¹, <https://orcid.org/0000-0001-6283-3567>

Н.Ю. Таран¹, <https://orcid.org/0000-0002-8669-5899>

В.В. Швартау², <https://orcid.org/0000-0001-7402-5559>

¹ ННЦ “Інститут біології та медицини” Київського національного університету ім. Тараса Шевченка

² Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, Київ

E-mail: plantaphys@gmail.com

Біосинтез наночастинок срібла з антибактеріальним ефектом проти *Micrococcus luteus* — збудника нозокоміальних інфекцій

Представлено членом-кореспондентом НАН України В.В. Швартау

*Розвиток технологій зеленого синтезу створює ефективні інструменти для синтезу наноматеріалів, що забезпечує зменшення негативного впливу хімічних і фізичних методів, а також зниження ризиків нанотехнологій. У статті запропоновано біосинтез наночастинок срібла з антибактеріальною активністю проти *Micrococcus luteus* — опортуністичного збудника, що здатен викликати нозокоміальні інфекції, за допомогою водного екстракту плодів гострого перцю чилі (*Capsicum annuum* L.) сорту Теджа. Біосинтезовані наночастинки досліджували за допомогою спектроскопії в УФ та видимій частині спектра, розміри та морфологію наночастинок фіксували методом сканувальної електронної мікроскопії. Встановлено ефективність біосинтезованих наночастинок проти росту і розвитку *Micrococcus luteus*.*

Ключові слова: наночастинок срібла, зелений синтез, антибактеріальна активність, *Micrococcus luteus*.

Традиційні підходи, що використовуються для синтезу поліфункціональних наноматеріалів, у тому числі фізичні та хімічні методи, передбачають використання агресивних хімічних речовин і небезпечних реакційних умов, що можуть становити загрозу здоров'ю та навколишньому середовищу. Альтернативою є біологічні методи, що включають “зелені” нанотехнології, вони об'єднують “зелену” хімію та інженерні принципи для формування нешкідливих й екологічно чистих наночастинок без побічних токсичних і агресивних речовин,

Цитування: Смірнов О.Є., Зелена П.П., Юмина Ю.М., Калиновський В.Є., Таран Н.Ю., Швартау В.В. Біосинтез наночастинок срібла з антибактеріальним ефектом проти *Micrococcus luteus* — збудника нозокоміальних інфекцій. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2022. № 5. С. 94—101. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2022.05.094>

сполук чи комплексів, що можуть вплинути на здоров'я людей та навколишнє середовище [1]. Основою "зелених" методів біосинтезу є використання фітохімічних речовин, що містяться в рослинах і частинах рослин та продукуються мікроорганізмами для біовідновлення і стабілізації іонів металів до відповідних їм наноматеріалів. Рослинний матеріал легко піддається обробці, є доступним, економічно ефективним і біосумісним [2].

За розрахунками, світовий ринок виробництва наночастинок досягнув 16,8 млрд доларів, при цьому частка комерціалізованих наночастинок срібла у 2021 р. становила 17,86 % [3]. Наночастинки срібла мають унікальні фізичні, хімічні та біологічні властивості, що обумовлює їх широке використання в різних галузях матеріалознавства, оптики, модифікації хірургічних інструментів, електроніки та косметології. Водночас наночастинки срібла мають широковідомі бактерицидні властивості, а тому наноматеріали на основі срібла використовуються в різних медико-біологічних дослідженнях для загоєння ран, відновлення кісткової тканини, модифікації стоматологічних матеріалів, як ад'юванти для вакцин, створення протидіабетичних препаратів та біовізуалізації [4]. Наночастинки срібла виявляють бактерицидні властивості проти грампозитивних і грамнегативних патогенних бактерій: *Salmonella epidermidis*, *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Streptococcus pneumoniae*, *Enterobacter hormaechei*, *Salmonella paratyphi*, *Klebsiella pneumoniae*, *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas fluorescens*, *Flavobacterium branchiophilum*, *Enterobacter aerogenes*, *Shigella flexneri*, *Xanthomonas axonopodis*, *Salmonella enterica* [5].

Micrococcus luteus з родини Micrococcaceae є представником грампозитивних коків з відомою каталазою та оксидазою активністю, цей вид широко розповсюджений у природному середовищі, виявляється у ґрунті та воді і зазвичай вважається нормофлорою шкіри та слизової оболонки глотки людини. У 1922 р. О. Флемінг, першовідкривач пеніциліну, вперше виявив *M. luteus* у носовому секреті пацієнта. В останні роки повідомлялося, що *M. luteus* може спричиняти такі інфекції, як абсцес печінки та мозку, ендокардит нативного клапана, бактеріємія та септичний артрит при імуносупресійних станах. Це вказує на те, що *M. luteus* слід розглядати як клінічно потенційний опортуністичний патоген, що здатний зумовлювати нозокоміальні інфекції [6]. Нозокоміальні або внутрішньолікарняні (госпітальні) інфекції є важливою детермінантою видужування для пацієнтів у реанімаційному відділенні. Систематичні дослідження, спрямовані на покращення профілактики та лікування нозокоміальних інфекцій, є актуальними у зв'язку з появою антибіотикорезистентних штамів мікроорганізмів-збудників [7].

Мета дослідження полягала у біосинтезі наночастинок срібла з антибактеріальною активністю проти *Micrococcus luteus* — опортуністичного збудника, що здатний спричиняти нозокоміальні інфекції, за допомогою водного екстракту плодів гострого перцю чилі (*Capsicum annuum* L.) сорту Теджа.

Матеріали і методи. Для біосинтезу наночастинок срібла як відновник і стабілізатор використовували водний екстракт плодів (перикарпіїв) гострого перцю чилі сорту Теджа. Для отримання екстракту змішували 2 г попередньо висушеного при 60 °C і подрібненого рослинного матеріалу зі 100 мл дистильованої води у скляній колбі, суміш кип'ятили на водяній бані протягом 20 хв. Отриманий екстракт фільтрували через паперовий фільтр і

зберігали при 4 °С для подальших досліджень. Біосинтез наночастинок срібла проводили шляхом додавання водного екстракту плодів перцю до 0,001 М розчину нітрату срібла в різних співвідношеннях: 1 мл екстракту до 4 мл AgNO_3 , 2 мл екстракту до 3 мл AgNO_3 та 3 мл екстракту до 2 мл AgNO_3 . Суміш розміщували під світлодіодною лампою повного спектра (Secret Jardin, 42 Вт, 6500 К) та залишали на 2 год при кімнатній температурі для утворення наноколоїду срібла [8].

Для характеристики ефективності біосинтезу наночастинок срібла застосовували метод спектроскопії в УФ і видимій частині спектра за допомогою спектрофотометра UV-1800 (Shimadzu, Японія) з роздільною здатністю в 1 нм. Після центрифугування при 10000 g і висушування при 60 °С розміри та морфологію наночастинок фіксували методом сканувальної електронної мікроскопії (СЕМ, Tescan Mira 3 MLU).

Антибактеріальну активність біосинтезованих наночастинок оцінювали агар-дифузним методом з подальшим аналізом фотографій за допомогою програмного забезпечення для обробки зображень ImageJ. Опортуністичний збудник *Micrococcus luteus* вирощували в живильному середовищі (HiMedia) і доводили до стандарту мутності 0,5 за МакФарландом. Суспензійну культуру *Micrococcus luteus* висівали на поверхню затверділого агару Мюллера—Хінтона в чашках Петрі. Потім у 5 лунок на одну чашку вносили 100 мкл досліджуваних зразків. Як позитивний контроль використовували паперовий диск, просякнутий цефалексином (30 мкг) (HiMedia), який був асептично розміщений у центрі чашки. Для розвитку культури *Micrococcus luteus* чашки інкубували при 37 °С протягом 18–24 год і фіксували діаметри зони інгібування росту культури [9].

Біологічна повторність кожного експерименту чотирикратна. Статистичну обробку даних здійснювали методом дисперсійного аналізу з подальшим застосуванням критерію Стьюдента. Дані вважали достовірними при рівні значущості $P < 0,05$.

Результати та їх обговорення. Ефективність використання водного екстракту плодів перцю в різному співвідношенні з розчином прекурсора — нітрату срібла порівнювали за характеристиками поверхневого плазмонного резонансу (ППР) (рис. 1). Перебіг реакції контролювали за зміною спектрів поглинання срібних наноколоїдів у межах УФ-видимого діапазону. Відновлення іонів Ag^{2+} до металічного срібла (Ag^0) характеризується утворенням піка поглинання в області 400–500 нм. За електронними спектрами поглинання ППР —

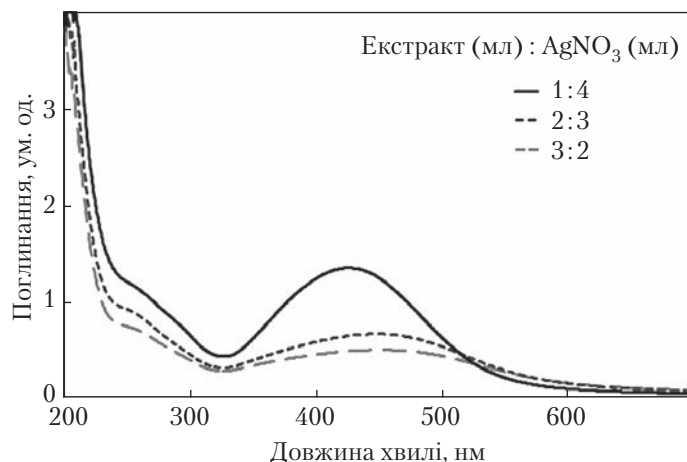


Рис. 1. Порівняння спектрів поглинання біосинтезованих колоїдних розчинів наночастинок срібла на основі різних співвідношень водного екстракту плодів *Capsicum annuum* та розчину нітрату срібла

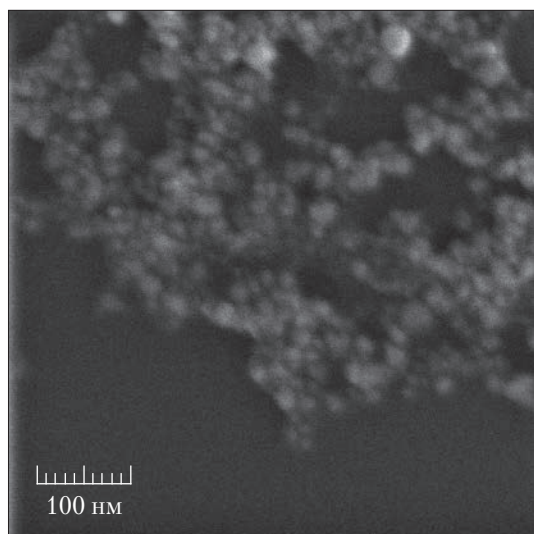


Рис. 2. СЕМ-зображення біосинтезованого за допомогою водного екстракту плодів *Capsicum annuum* колоїдного розчину наночастинок срібла

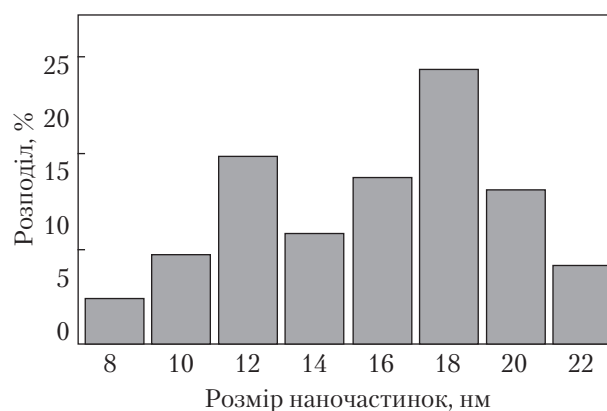


Рис. 3. Бімодальний розподіл розмірів біосинтезованих наночастинок срібла

значеннями максимумів смуг поглинання та їх шириною на половині висоти можливе визначення значення середнього діаметра отримуваних наночастинок срібла [10]. Висота смуги в області максимуму поглинання вказує на кількість наночастинок срібла, а ширина – на розподіл розмірів. У разі фіксування одночасно високого і вузького піка поглинання можна стверджувати про успішне утворення великої кількості наночастинок та однорідність їхніх розмірів [11]. Найбільш ефективним для синтезу наночастинок срібла виявилось співвідношення екстракт : нітрат срібла 1 : 4. Аналіз спектра поглинання цього дослідного варіанта вказує на найвищу кількість біосинтезованих наночастинок і найменшу різницю в розмірах. Тому в подальших дослідженнях вирішено використовувати наночастинки, утворені в колоїді з найбільшою кількістю AgNO_3 і найменшою кількістю екстракту. Таким чином, з урахуванням того, що все срібло відновилося до відповідних наночастинок у цьому варіанті було отримано розчин з концентрацією 80 мг/л.

Результати сканувальної електронної мікроскопії підтверджують дані спектроскопії наноколоїдів срібла (рис. 2). На мікрофотографіях зафіксовано велику кількість утворених наночастинок срібла і незначну різницю в розмірах, розподіл за розмірами дає підставу стверджувати, що утворюються наночастинки сферичної форми та діаметром у межах від 8 до 22 нм. Найбільша кількість (25 %) має розмір 18 нм і 12 нм – 15 % з усіх присутніх часток у наноколоїді (рис. 3). Загальною ознакою всіх проб досліджуваного наноколоїду є бімодальний розподіл наночастинок за розмірами. Середній розмір першої (меншої) фракції у 12 нм вказує на швидку і ефективну нуклеацію срібла на поверхні органічної матриці на початкових етапах відновлення іонів до металічного срібла. Ці дрібні частинки є основою для їх подальшого росту до розміру близько 20 нм [12].

Сферична форма біосинтезованих наночастинок і розміри до 25 нм дають підставу розглядати їх як бактеріцидні ефектори. Відомо, що антимікробна активність наночастинок



Діаметр зони затримки росту
Micrococcus luteus у досліді із застосуванням
біосинтезованих наночастинок срібла

Варіант	Досліджуваний розчин	Діаметр зони затримки росту, см
1	0,001 М AgNO ₃	3,22 ± 0,31
2	Екстракт плодів <i>Capsicum annuum</i>	Не виявлено
3	80 мг/л наночастинок срібла	3,30 ± 0,37
4	40 мг/л наночастинок срібла	3,33 ± 0,31
5	20 мг/л наночастинок срібла	3,23 ± 0,33
6	Цефалексин (позитивний контроль)	3,31 ± 0,30

Рис. 4. Антибактеріальний ефект біосинтезованих наночастинок срібла проти *Micrococcus luteus*: 1 — 0,001 М AgNO₃; 2 — екстракт плодів *Capsicum annuum*; 3 — 80 мг/л наночастинок срібла; 4 — 40 мг/л наночастинок срібла; 5 — 20 мг/л наночастинок срібла; 6 — цефалексин (позитивний контроль)

срібла залежить від ряду факторів, проте форма і розмір наночастинок істотно впливають на їх ефективність. Таким чином, деякі з останніх досліджень були спеціально зосереджені на антимікробній активності наночастинок, яка залежить від їх розміру та морфології [13]. Тому на наступному етапі було досліджено вплив біосинтезованого наноколоїду на ріст *Micrococcus luteus* — опортуністичного збудника нозокоміальних інфекцій.

Результати агар-дифузного методу вказують на ефективність досліджуваних розчинів, що була оцінена за діаметрами зон затримки росту бактеріальної культури (рис. 4). Для пошуку мінімальної діючої концентрації біосинтезованих наночастинок отриманий колоїд розводили до відповідних концентрацій 40 і 20 мг/л. Аналіз отриманих даних вказує на те, що ріст культури *Micrococcus luteus* ефективно інгібувався додаванням 0,001 М нітрату срібла та наночастинами у всіх досліджуваних концентраціях: 80, 40 та 20 мг/л, при цьому інгібування росту не спостерігається у разі використання водного екстракту плодів перцю (таблиця). Статистичний аналіз даних про діаметр зон затримки росту бактеріальної культури свідчить про відсутність статистично значущої різниці між інгібуючим впливом досліджуваних концентрацій наночастинок.

Деякі проблеми, пов'язані з безпосереднім застосуванням наноколоїдів срібла та їхньою токсичністю щодо еукаріотичних модельних систем, ще чекають на дослідження: систематичне вивчення аспектів синтезу, розуміння механізму дії і вивчення безпеки застосування залишаються актуальними. Механізми антибактеріальної дії наночастинок срібла сьогодні також залишаються дискусійними, оскільки до традиційного запуску генерації активованих форм кисню та зсуву про/антиоксидантної внутрішньоклітинної рівноваги додаються нові відомості про вплив наночастинок срібла на активність бактеріальних ефлюксних pomp двома механізмами. Перший можливий механізм полягає в прямому зв'язуванні з активним центром ефлюксних pomp, а другий — в порушенні кінетики витоку [14].

Отже, у статті описано біосинтез наночастинок срібла з антибактеріальною активністю проти *Micrococcus luteus* — опортуністичного збудника, що здатний спричиняти нозокоміальні інфекції, за допомогою водного екстракту плодів гострого перцю чили (*Capsicum annuum* L.) сорту Теджа. Дослідження біосинтезованих наночастинок проводили за допомогою спектроскопії в УФ і видимій частині спектра, розміри та морфологію наночастинок фіксували методом сканувальної електронної мікроскопії. Встановлено ефективність біосинтезованих наночастинок проти росту і розвитку бактеріальної культури *Micrococcus luteus*.

Колектив авторів висловлює вдячність завідувачу лабораторії електронної мікроскопії Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України Скорику Миколі Анатолійовичу за проведення сканувальної електронної мікроскопії зразків біосинтезованих наночастинок срібла.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Noah N.M., Ndangili P.M. Green synthesis of nanomaterials from sustainable materials for biosensors and drug delivery. *Sensors Int.* 2022. **3**, № 1. 100166. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2022.100166>
2. Jadoun S., Arif R., Jangid N.K., Meena R.K. Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: A review. *Environ. Chem. Lett.* 2021. **19**. P. 355–374. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01074-x>
3. Poudel D.K., Niraula P., Aryal H., Budhathoki B., Phuyal S., Marahatha R., Subedi K. Plant-mediated green synthesis of Ag NPs and their possible applications: A critical review. *J. Nanotechnol.* 2022. **16**. 2779237. <https://doi.org/10.1155/2022/2779237>
4. Xu L., Wang Y.-Y., Huang J., Chen C.-Y., Wang Z.-X., Xie H. Silver nanoparticles: Synthesis, medical applications and biosafety. *Theranostics*. 2020. **10**, № 20. P. 8996–9031. <https://doi.org/10.7150/thno.45413>
5. Huq M.A., Ashrafudoulla M., Rahman M.M., Balusamy S.R., Akter S. Green synthesis and potential antibacterial applications of bioactive silver nanoparticles: A review. *Polymers*. 2022. **14**. 742. <https://doi.org/10.3390/polym14040742>
6. Zhu M., Zhu Q., Yang Z., Liang Z. Clinical characteristics of patients with *Micrococcus luteus* bloodstream infection in a Chinese Tertiary-Care Hospital. *Polish J. Microbiol.* 2021. **70**, № 3. 321. <https://doi.org/10.33073/pjm-2021-030>
7. Kollef M.H., Torres A., Shorr A.F., Martin-Loeches I., Micek S.T. Nosocomial infection. *Crit. Care Med.* 2021. **149**, № 2. P. 169–187. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000004783>
8. Smirnov O.E., Kalynovskiy V.Y., Yumyna Y.M., Zelena P.P., Skoryk M.A., Dzhagan V.M., Taran N.Y. Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of hot chili pepper fruits and its antimicrobial activity against *Pseudomonas aeruginosa*. *Ukr. Biochem. J.* 2021. **93**, № 5. P. 102–110. <https://doi.org/10.15407/ubj93.05.102>
9. Aravind M., Ahmad A., Ahmad I., Amalanathan M., Naseem K., Mary S.M.M., Parvathiraja C., Hussain S., Algarni T.S., Pervaiz M., Zuber M. Critical green routing synthesis of silver NPs using jasmine flower extract for biological activities and photocatalytical degradation of methylene blue. *J. Environ. Chem. Eng.* 2021. **9**. 104877. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104877>
10. Mehata M.S. Green route synthesis of silver nanoparticles using plants/ginger extracts with enhanced surface plasmon resonance and degradation of textile dye. *Mater. Sci. Eng. B.* 2021. **273**. 115418. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2021.115418>
11. Kiba T., Masui K., Inomata Y., Furumoto A., Kawamura M., Abe Y., Kim K.H. Control of localized surface plasmon resonance of Ag nanoparticles by changing its size and morphology. *Vacuum*. 2021. **192**. 110432. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2021.110432>
12. Salayová A., Bedlovičová Z., Daneu N., Baláž M., Lukáčová Bujňáková Z., Balážová E., Tkáčiková E. Green synthesis of silver nanoparticles with antibacterial activity using various medicinal plant extracts: Morphology and antibacterial efficacy. *Nanomaterials*. 2021. **11**, № 4. 1005. <https://doi.org/10.3390/nano11041005>

13. Malik M., Iqbal M.A., Malik M., Raza M.A., Shahid W., Choi J.R., Pham P.V. Biosynthesis and characterizations of silver nanoparticles from *Annona squamosa* leaf and fruit extracts for size-dependent biomedical applications. *Nanomaterials*. 2022. **12**, № 4. 616. <https://doi.org/10.3390/nano12040616>
14. Attallah N.G., Elekhawy E., Negm W.A., Hussein I. A., Mokhtar F.A., Al-Fakhrany O.M. *In vivo* and *in vitro* antimicrobial activity of biogenic silver nanoparticles against *Staphylococcus aureus* clinical isolates. *Pharmaceuticals*. 2022. **15**, № 2. 194. <https://doi.org/10.3390/ph15020194>

Надійшло до редакції 12.06.2022

REFERENCES

1. Noah, N. M. & Ndagili, P. M. (2022). Green synthesis of nanomaterials from sustainable materials for biosensors and drug delivery. *Sensors Int.*, 3, No. 1, 100166. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2022.100166>
2. Jadoun, S., Arif, R., Jangid, N. K. & Meena, R. K. (2021). Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: A review. *Environ. Chem. Lett.*, 19, pp. 355-374. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01074-x>
3. Poudel, D. K., Niraula, P., Aryal, H., Budhathoki, B., Phuyal, S., Marahatha, R. & Subedi, K. (2022). Plant-mediated green synthesis of Ag NPs and their possible applications: A critical review. *J. Nanotechnol.*, 16, 2779237. <https://doi.org/10.1155/2022/2779237>
4. Xu, L., Wang, Y.-Y., Huang, J., Chen, C.-Y., Wang, Z.-X. & Xie, H. (2020). Silver nanoparticles: Synthesis, medical applications and biosafety. *Theranostics*, 10, No. 20, pp. 8996-9031. <https://doi.org/10.7150/thno.45413>
5. Huq, M. A., Ashrafudoulla, M., Rahman, M. M., Balusamy, S. R. & Akter, S. (2022). Green synthesis and potential antibacterial applications of bioactive silver nanoparticles: A review. *Polymers*, 14, 742. <https://doi.org/10.3390/polym14040742>
6. Zhu, M., Zhu, Q., Yang, Z. & Liang, Z. (2021). Clinical characteristics of patients with *Micrococcus luteus* bloodstream infection in a Chinese Tertiary-Care Hospital. *Polish J. Microbiol.*, 70, No. 3, 321. <https://doi.org/10.33073/pjm-2021-030>
7. Kollef, M. H., Torres, A., Shorr, A. F., Martin-Loeches, I. & Micek, S. T. (2021). Nosocomial infection. *Crit. Care Med.*, 149, No. 2, pp. 169-187. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000004783>
8. Smirnov, O. E., Kalynovskiy, V. Y., Yumyna, Y. M., Zelena, P. P., Skoryk, M. A., Dzhagan, V. M. & Taran, N. Y. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of hot chili pepper fruits and its antimicrobial activity against *Pseudomonas aeruginosa*. *Ukr. Biochem. J.*, 93, No. 5, pp. 102-110. <https://doi.org/10.15407/ubj93.05.102>
9. Aravind, M., Ahmad, A., Ahmad, I., Amalanathan, M., Naseem, K., Mary, S. M. M., Parvathiraja, C., Hussain, S., Algarni, T. S., Pervaiz, M. & Zuber, M. (2021). Critical green routing synthesis of silver NPs using jasmine flower extract for biological activities and photocatalytic degradation of methylene blue. *J. Environ. Chem. Eng.*, 9, 104877. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104877>
10. Mehata, M. S. (2021). Green route synthesis of silver nanoparticles using plants/ginger extracts with enhanced surface plasmon resonance and degradation of textile dye. *Mater. Sci. Eng. B*, 273, 115418. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2021.115418>
11. Kiba, T., Masui, K., Inomata, Y., Furumoto, A., Kawamura, M., Abe, Y. & Kim, K. H. (2021). Control of localized surface plasmon resonance of Ag nanoparticles by changing its size and morphology. *Vacuum*, 192, 110432. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2021.110432>
12. Salayová, A., Bedlovičová, Z., Daneu, N., Baláž, M., Lukáčová Bujňáková, Z., Balážová, E. & Tkáčiková, E. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles with antibacterial activity using various medicinal plant extracts: Morphology and antibacterial efficacy. *Nanomaterials*, 11, No. 4, 1005. <https://doi.org/10.3390/nano11041005>
13. Malik, M., Iqbal, M. A., Malik, M., Raza, M. A., Shahid, W., Choi, J. R. & Pham, P. V. (2022). Biosynthesis and characterizations of silver nanoparticles from *Annona squamosa* leaf and fruit extracts for size-dependent biomedical applications. *Nanomaterials*, 12, No. 4, 616. <https://doi.org/10.3390/nano12040616>
14. Attallah, N. G., Elekhawy, E., Negm, W. A., Hussein, I. A., Mokhtar, F. A. & Al-Fakhrany, O. M. (2022). *In vivo* and *in vitro* antimicrobial activity of biogenic silver nanoparticles against *Staphylococcus aureus* clinical isolates. *Pharmaceuticals*, 15, No. 2, 194. <https://doi.org/10.3390/ph15020194>

Received 12.06.2022

O.E. Smirnov^{1,2}, <https://orcid.org/0000-0002-2293-5961>

P.P. Zelena¹, <https://orcid.org/0000-0001-6746-2988>

Yu.M. Yumyna¹, <https://orcid.org/0000-0002-4568-1415>

V.Ye. Kalynovskyi¹, <https://orcid.org/0000-0001-6283-3567>

N.Yu. Taran¹, <https://orcid.org/0000-0002-8669-5899>

V.V. Schwartau², <https://orcid.org/0000-0001-7402-5559>

¹ Institute of Biology and Medicine of Taras Shevchenko National University of Kyiv

² Institute of Plant Physiology and Genetics of the NAS of Ukraine, Kyiv

E-mail: plantaphys@gmail.com

BIOSYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES WITH AN ANTIBACTERIAL EFFECT AGAINST *MICROCOCCUS LUTEUS* – THE CAUSATIVE AGENT OF NOSOCOMIAL INFECTIONS

Green synthesis technologies offer effective tools for creating nanomaterials, which reduces the negative impact of chemical and physical methods to decrease the risks of nanotechnology. The manuscript proposes the biosynthesis of silver nanoparticles with antibacterial activity against *Micrococcus luteus* – an opportunistic pathogen that can cause nosocomial infections with aqueous extract of hot chili (*Capsicum annuum* L.) variety Teja. Studies of biosynthesized nanoparticles were performed by UV-Vis spectroscopy, the size and morphology of nanoparticles were recorded by scanning electron microscopy. The effectiveness of biosynthesized nanoparticles against the growth and development of *Micrococcus luteus* has been established.

Keywords: silver nanoparticles, green synthesis, antibacterial activity, *Micrococcus luteus*.