БІОСИНТЕТИЧНА ЗДАТНІСТЬ МОЛОЧНОКИСЛИХ БАКТЕРІЙ НАКОПИЧУВАТИ НАНОЧАСТИНКИ СЕЛЕНУ

Синявська Д.А., Грегірчак Н.М.
Національний університет харчових технологій,
sinyavska.daria.2001@gmail.com

Abstract

From 500 million to 1 billion people in the world suffer from Se deficiency. The objective of this work was to select the optimal biological agent capable of accumulating SeNPs. Studies have shown that the bacteria L. delbrueckii ssp. bulgaricus showed the best ability to accumulate Se - 12.05±0.43 mg/ml, which was accompanied by a relative maximum of living cells at Na_2SeO_3 content of 80 mg/ml.

Keywords: *selenium, nanoparticles, lactic acid bacteria, biotransformation*

Вступ. Наночастинки селену є інноваційною та новою альтернативою в якості об'єктів зеленого синтезу завдяки їх меншій токсичності та вищій біодоступності порівняно з традиційними хімічними формами харчового Se [1]. На сьогоднішній день особливу увагу серед мікроорганізмів, здатних до синтезу SeNPs, привертають молочнокислі бактерії, що належать до родів *Lactobacillus, Lactococcus, Enterococcus, Streptococcus, Pediococcus, Leuconostoc та Bifdobacterium* [2].

Ці біологічні агенти мають певні переваги порівняно з іншими продуцентами, зокрема ключову роль відіграє їх здатність до вироблення молочної кислоти, яка в свою чергу є сильним відновлювачем та стабілізатором для наночастинок. Слід відзначити, що можливість їх синтезу за кімнатної температури та атмосферного тиску суттєво знижує енергетичні витрати та вплив на навколишнє середовище.

При виборі біологічного агенту для виробництва пробіотичного засобу, збагаченого SeNPs, необхідно звертати увагу на такі критерії як накопичення біомаси і швидкість або кількість збагачення Se, що в свою чергу дасть змогу накопичувати Se, зберігаючи високу життєздатність клітин. Ця технологія дозволить краще задовольнити попит на добавки Se для людей, особливо тих, хто має дефіцит цього елемента в організмі.

Метою нашої роботи був аналіз сучасних наукових досліджень, у яких висвітлюються питання можливості використання молочнокислих бактерій як потенційних біологічних агентів синтезу наночастинок селену.

Матеріали та методи. Для вирішення проблем, поставлених у роботі, проведено пошук, збір та детальний аналіз за інформаційними джерелами цитування PubMed, Google Scholar, Elsevier та ResearchGate.

Результати та обговорення. За результатами літературного аналізу встановлено, що найбільший обсяг збагачення Se отримали при культивуванні штаму *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* – 12,05 мг/мл, а найнижчий під час біосинтезу штаму *L. plantarum* CRL 2030, що становить 1,96 мг/мл (табл. 1).

Таблиця 1. Особливості культивування продуцентів та технології трансформації наночастинок селену

Біологічний агент	Форма, розміри SeNPs, нм	К-ть життєздатних клітин, КУО/мл	Ефективність збагачення Se		Особливості процесу біосинтезу	Джерело
			Обсяг збагачення Se, мг/г	Швидкість збагачення Se, %		
Lactobacillus delbrueckii ssp. *bulgaricus*	*	$6,6 \times 10^8$	12,05	94,34	Бульйон MRS, 33,24 °С, 80 мг/л Na_2SeO_3, 24 год	[4]
Lactobacillus plantarum CRL 2030	Сферична, 50 – 90 нм	$8,8 \times 10^{10}$	1,96	98	Бульйон MRS, 30 °С, 5 мг/л Na_2SeO_3, 24 год	[5]
Lactobacillus plantarum 6076	Аморфна або некристалічна, *	$3,9 \times 10^{10}$	4,88	*	Бульйон MRS, 37 °С, 10 мкг/мл Na_2SeO_3, 18 год	[6]
Streptococcus thermophilus CCDM 144	Сферична, 60 - 280 нм	$7,3 \times 10^{10}$	7,35	*	Бульйон M17, 37 °С, 50 мг/л Na_2SeO_3, 24 год	[7]

Примітка. * – у статті дана інформація не наведена

Оскільки ми пропонуємо виготовляти пробіотичний препарат, збагачений SeNPs, то кількість життєздатних клітин також є важливим показником при виборі біологічного агенту і вона повинна становити не менше 10^8 КУО/г. За результатами досліджень, найнижчу концентрацію клітин отримали при культивуванні *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* - $6,6 \times 10^8$ КУО/мл, а найвищу при культивуванні штаму *L.plantarum* CRL 2030 - $8,8 \times 10^{10}$ КУО/мл, однак як зазначено вище обсяг збагачення Se був недостатнім.

Зважаючи на те, що відношення площі поверхні до об’єму збільшується при зменшенні розміру частинок, менші (<100 нм) SeNPs мають більшу біологічну активність та вище в 15-250 разів поглинання у шлунково-кишковому тракті, тому показник форми та розмірів наночастинок при біосинтезі потрібно також враховувати. Так, майже всі порівнювані продуценти синтезували SeNPs сферичної форми та маленьких розмірів.

Проте така порівняльна характеристика технологічного процесу є недостатньою. Тому на наступному етапі вибору біологічного агента було розраховано умовну вартість 1 мг цільового продукту - SeNPs (табл. 2).

Таблиця 2. Умовна вартість 1 мг цільового продукту – SeNPs

Біологічний агент	Обсяг збагачення Se, мг/г	Тривалість культивування, год	Кількість збагаченого Se за годину, мг/год	Вартість 1 л середовища, грн/л	Умовна вартість 1 мг цільового продукту, грн/мг
1	2	3	4	5	6
Lactobacillus delbrueckii ssp. *bulgaricus*	12,05	24	0,50	24,99	49,98
Lactobacillus plantarum CRL 2030	1,96	24	0,08	24,97	312,12

Продовження таблиці 2

Lactobacillus plantarum 6076	4,88	18	0,27	24,98	92,51
Streptococcus thermophilus CCDM 144	7,35	24	0,30	32,51	108,37

Висновки. Узагальнюючи вищенаведені дані, можна зробити висновок про те, що як потенційний селенсинтезуючий пробіотичний штам доцільно використовувати *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus,* оскільки вартість цільового продукту становить 49,98 грн/мг. Вартість синтезованого продукту бактеріями *L. plantarum* 6076 та *S. Thermophilus* CCDM 144 – 92,51 грн/мг та 108,37 грн/мг відповідно, а найдорожчим виявився цільовий продукт синтезований *L. plantarum* CRL 2030, що складає 312,12 грн/мг.

Зважаючи на те, що для культивування *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* використовується відносно недороге поживне середовище, при цьому даний біологічний агент має найвищий обсяг збагачення Se та задовільну кількість життєздатних клітин, то цей штам може бути рекомендований для виробництва пробіотичного препарату.

Таким чином, наночастинки металів та пробіотики можуть створювати синергетичний ефект для покращення здоров'я людини, однак розробка таких препаратів потребує більш глибокого дослідження їх безпеки, токсичності, біорозчинності та впливу на навколишнє середовище, адже це дозволить у майбутньому якісно й безпечно застосовувати ретельно досліджені технології як найбільш екологічно сприятливі та ефективні.

Список використаної літератури:

1. Au A, Mojadadi A, Shao J, et al. Physiological Benefits of Novel Selenium Delivery via Nanoparticles. International Journal of Molecular Sciences. 2023. Vol. 24, No. 7. P. 6068. doi:10.3390/ijms24076068.

2. Stabnikova O, Khonkiv M, Kovshar I, Stabnikov V. Biosynthesis of selenium nanoparticles by lactic acid bacteria and areas of their possible applications. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2023. Vol. 39, No. 9. doi:10.1007/s11274-023-03673-6.

3. Liao J, Wang C. Factors affecting selenium-enrichment efficiency, metabolic mechanisms and physiological functions of selenium-enriched lactic acid bacteria. Journal of Future Foods. 2022. Vol. 2, No. 4. P. 285–293. doi:10.1016/j.jfutfo.2022.08.001.

4. Yang J, Wang J, Yang K, et al. Antibacterial activity of selenium-enriched lactic acid bacteria against common food-borne pathogens in vitro. Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, No. 3. P. 1930–1942. doi:10.3168/jds.2017-13430.

5. Martínez F, Moreno-Martin G, Pescuma M, et al. Biotransformation of Selenium by Lactic Acid Bacteria: Formation of Seleno-Nanoparticles and Seleno-Amino Acids. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2020. Vol. 8. doi:10.3389/fbioe.2020.00506.

6. Zan L, Chen Z, Zhang B, et al. Screening, Characterization and Probiotic Properties of Selenium-Enriched Lactic Acid Bacteria. Fermentation. 2024. Vol. 10, No. 1. P. 39. doi:10.3390/fermentation10010039.

7. Krausova G, Kana A, Vecka M, et al. In Vivo Bioavailability of Selenium in Selenium-Enriched Streptococcus thermophilus and Enterococcus faecium in CD IGS Rats. Antioxidants. 2021. Vol. 10, No. 3. P. 463. doi:10.3390/antiox10030463.