

Антимікробний вплив препаратів наночастинок металів на мікрофлору харчових продуктів

В.В. Олішевський, А.І. Маринін, Ю.О. Дашковський,
С.В. Ткаченко*, О.Б. Щербаков

Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68, Київ-33, 01601, Україна

Резюме. Встановлено антимікробну дію препаратів наночастинок металів (ПНМ) *Ag*, *Au*, *CeO₂* в низьких концентраціях (0,5–7,5 мг/л) на чисті культури мікроорганізмів *Escherichia coli* IEM-1, *Bacillus subtilis* БТ-2 і *Saccharomyces cerevisiae* ОБ-3. Визначено посилення на 1–2 порядки антимікробної дії ПНМ *Ag* у композиції з ПНМ *Au* на чисті культури мікроорганізмів (*B. subtilis* БТ-2, *S. cerevisiae* ОБ-3). Встановлено тривалу антимікробну дію ПНМ *Ag* на мікрофлору непастеризованого пива, зокрема зниження на 16 % бактеріальної та на 41 % дріжджової мікрофлори через 504 год (21 доба) експозиції.

Ключові слова: препарати наночастинок металів, *zeta*-потенціал, антимікробні властивості, контамінуюча мікрофлора, непастеризоване пиво.

Вступ. Нині важливим напрямом досліджень і розробок у науковому просторі, що спрямовані на вирішення комплексних науково-технічних та технологічних завдань, є можливість застосування нанотехнологій [1]. Зокрема, у харчовій і переробній промисловості актуальними на сьогодні є пошук та розробка способів використання нанотехнологій з метою одержання харчових продуктів нового покоління, а також удосконалення й навіть заміни деяких способів обробки продуктів і напівпродуктів за умови збереження їхніх харчосмакових властивостей та забезпечення їхньої безпеки. У Проблемній науково-дослідній лабораторії Національного університету харчових технологій проводяться дослідження з використання властивостей препаратів наночастинок металів (ПНМ) у харчових технологіях.

Однією з основних причин інтересу науковців до застосування наноматеріалів є їх унікальні властивості, пов'язані з їх структурою:

наноматеріали являють собою складні об'єкти, наноструктуровані на поверхні або в об'ємі, і можуть розглядатись як особливий стан речовини, оскільки нанорозмірні частинки володіють надмірною в порівнянні з монолітними матеріалами енергією. Це пов'язано, в основному, з підвищеною кількістю атомів, що знаходяться в приповерхневих шарах, які мають зв'язки, що не компенсуються, на поверхні і порушену симетрію в розподілі сил, що діють на них. У результаті спостерігається висока активність наночастинок до взаємодії з навколишнім середовищем, наприклад, прискорення процесів адсорбції, іонного й атомного обміну, контактної взаємодії із структурними елементами [2]. Особливу увагу дослідники приділяють вивченню антимікробних властивостей наночастинок металів по відношенню до патогенних і технологічно шкідливих мікроорганізмів [3–6].

Мета цієї роботи — дослідити антимікробну дію ПНМ на чисті культури мікроорганізмів, які є типовими контамінантами у виробництві та зберіганні харчових продуктів, і мікрофлору непастеризованого пива для забезпечення ефекту «холодної» пастеризації.

* Corresponding author.
Tel.: +38044-2897213
E-mail address: nufnano@ukr.net

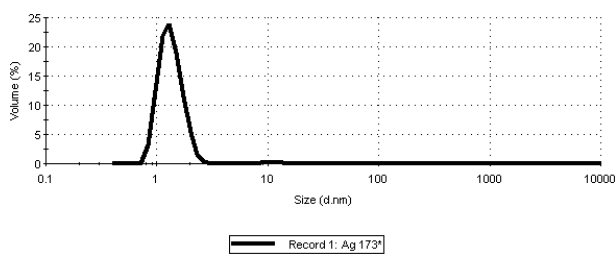


Рис. 1. Розподіл розмірів частинок ПНМ Ag.

Матеріали і методи. Як об'єкти дослідження використовували чисті культури *Escherichia coli* IEM-1, *Bacillus subtilis* БТ-2, *Candida scottii* КБ-2, *Saccharomyces cerevisiae* ОБ-3, *Aspergillus niger* Р-3, *Fusarium culmorum* Т-7, *Penicillium chrysogenum* Ф-7, а також непастеризоване пиво. У роботі застосовано ПНМ Ag, Au, CeO₂ з розмірами частинок у діапазоні від 0,7 до 5 нм. Розподіл розмірів частинок і zeta-потенціалу ПНМ визначали за допомогою аналізатора розмірів частинок і zeta-потенціалу Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd, United Kingdom, сертифікований у 2011 р). Вибір дослідних ПНМ був обумовлений їхньою безпекою [6], а також ефективністю дії відносно штамів мікроорганізмів, яку проявляють частинки металу, що не знаходяться в нанометровому діапазоні [7, 8]. Більш детальний опис ПНМ наведено нижче.

Науково доведено, що олігодинамічні розчини срібла володіють бактерицидною, антивірусною, вираженою протигрибковою й антисептичною дією [9-10]. Ефективність бактерицидної дії срібла пояснюється здатністю пригнічувати роботу ферменту, за допомогою якого забезпечується кисневий обмін у найпростіших організмах [11]. Можна припустити, що наночастинки срібла мають кращий бактеріостатичний ефект, ніж олігодинамічні розчини срібла, за рахунок збільшеної питомої поверхні самої частинки і, як наслідок, ефективності взаємодії з мікроорганізмами.

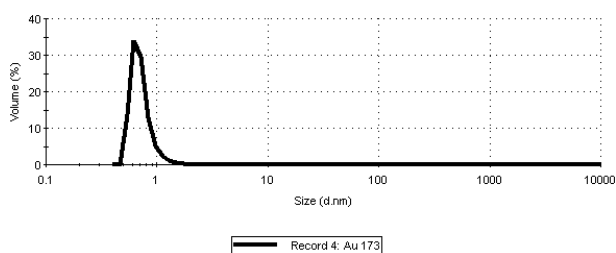


Рис. 3. Розподіл розмірів частинок ПНМ Au.

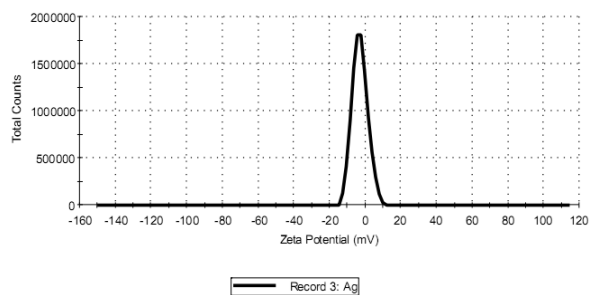


Рис. 2. Розподіл Zeta-потенціалу ПНМ Ag.

У нашій роботі для дослідів використано ПНМ Ag з розмірами частинок 1,5 нм (рис. 1) та із zeta-потенціалом -2,98 мВ (рис. 2).

Відомо, що золото в різних сполуках у сучасній медицині застосовується для діагностики й лікування злоякісних пухлин [12]. Існує зовсім новий метод, яким передбачено введення в пухлинну тканину нанорозмірних частинок золота з подальшим впливом на них інфрачервоними променями. При цьому ракові клітини гинуть, а здорова тканина залишається непошкодженою [13]. Наночастинки золота відрізняються високою хімічною стабільністю й унікальними каталітичними властивостями, вони добре розсіюють і поглинають світло та цілком сумісні з біологічними об'єктами.

Також у роботі застосовано ПНМ Au з розмірами частинок 0,7 нм (рис. 3) та із zeta-потенціалом -2,58 мВ (рис. 4).

Наночастинки діоксиду церію є перспективним об'єктом для біологічного використання, що визначається двома основними факторами: їх високою кисневою нестехіометрією і низькою токсичністю [14]. Перший фактор обумовлює активність наночастинок діоксиду церію в біохімічних процесах, другий забезпечує відносну безпеку їхнього вживання.

Для дослідів також використовували ПНМ CeO₂ з розмірами частинок 5 нм (рис. 5) та із zeta-потенціалом -23,0 мВ (рис. 6).

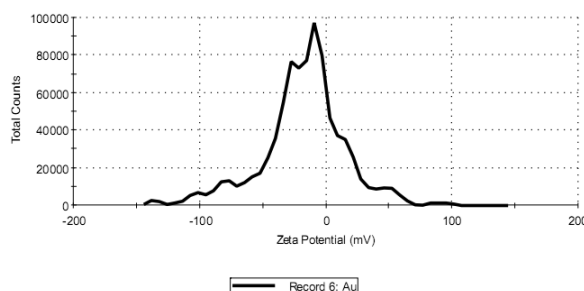
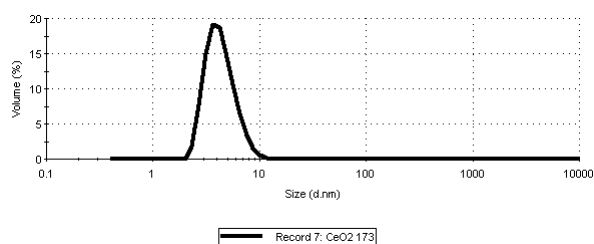


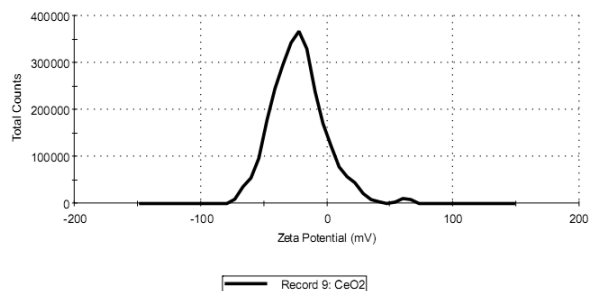
Рис. 4. Розподіл Zeta-потенціалу ПНМ Au.

Рис. 5. Розподіл розмірів частинок ПНМ CeO_2 .

Характеристику використаних ПНМ наведено в табл. 1.

З метою визначення антимікробних властивостей ПНМ методом дифузії глюкозо-картопляний агар (ГКА) або м'ясо-пептонний агар (МПА) розливали в чашки Петрі товстим шаром (по 30 мл на чашку) і витримували в термостаті при 30 °С упродовж доби, після чого засівали суцільним шаром суспензії (0,1 мл) добових тест-культур, вирощених на агаризованих середовищах (бактерії на МПА, дріжджі на ГКА). Після посіву мікроорганізмів у середовищі стерильним свердлом робили чотири лунки діаметром 10 мм, в які вносили досліджувані ПНМ. Після закінчення інкубації (3-4 доби) вимірювали зони затримки росту тест-культур і фіксували найменшу концентрацію ПНМ, яка спричинювала бактеріостатичний ефект.

Антимікробні властивості ПНМ у суспензії досліджуваних культур визначали за такою методикою: у вихідній суспензії досліджуваних тест-культур бактерій і дріжджів, вирощених на агаризованих середовищах (бактерії — МПА, дріжджі — ГКА) упродовж 15, 24 і

Рис. 6. Розподіл Zeta-потенціалу ПНМ CeO_2 .

72 год, визначали кількість живих мікроорганізмів за методом Коха (колоній-утворювальні одиниці, КУО/мл). Потім суспензію тест-культур вносили в пробірки (3 мл), додавали розраховані об'єми ПНМ та витримували протягом 0; 0,5; 1 і 24 год за оптимальної температури, необхідної для росту цих культур. Після часу кожної експозиції визначали за методом Коха кількість живих мікроорганізмів. Вживання мікроорганізмів визначали як відношення кількості живих мікроорганізмів в оброблених ПНМ зразках до кількості мікроорганізмів у вихідній суспензії, виражене у відсотках.

Антимікробну дію ПНМ на мікрофлору непастеризованого пива визначали шляхом внесення їх у досліджуваний зразок об'ємом 3 мл. Тривалість експозиції становила 0; 0,5; 1; 24; 168 і 504 год. Як контроль використовували пиво без ПНМ, яке витримували в термостаті. Висів здійснювали на МПА та сусло-агарі (СА) для визначення зміни кількості бактеріальної та дріжджової мікрофлори.

Таблиця 1

Характеристика використаних ПНМ

№ ПНМ	ПНМ	Розмір частинок ПНМ, нм	Стабілізатор	Концентрація металу (сполуки), мг/мл	Відсоткове співвідношення Ag/Au, %
1	CeO_2	5	HEDP (гідроксиетилен-дифосфорна кислота, 16,7)	1,67	—
2	CeO_2	5	ПАА (поліаліламід, 7,0)	3,5	—
3	CeO_2	5	ПАА (поліаліламід, 7,0)	2,0	—
4	Ag	1,5	ПВП (полівінілпіролідол)	12,5	—
5	Ag	1,5	ПВП (полівінілпіролідол 5,0)	1,5	—
6	Au	0,7	ПВП (полівінілпіролідол)	0,2	—
7	Ag/Au	—	—	—	50/50
8	Ag/Au	—	—	—	60/40
9	Ag/Au	—	—	—	80/20

Примітка: «—» — дані відсутні.

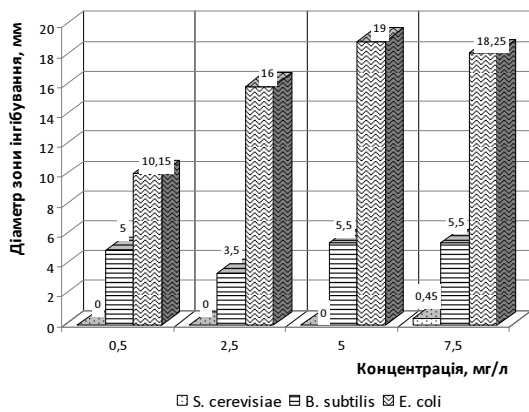


Рис. 7. Порівняльна дія препарату № 4 (ПНМ Ag) на різні добові культури мікроорганізмів. Початкова концентрація мікроорганізмів (КУО/мл): *S. cerevisiae* ОБ-3 — $2 \cdot 10^8$; *B. subtilis* БТ-2 — $2 \cdot 10^7$; *E. coli* ІЕМ-1 — $3 \cdot 10^8$.

Результати й обговорення. Методом дифузії в агар було встановлено, що із збільшенням концентрацій ПНМ їх антимікробна дія посилювалася. Таку закономірність спостерігали при дії ПНМ CeO_2 (препарат № 1, табл. 1) на мікроорганізми *E. coli* ІЕМ-1 і ПНМ Ag (препарат № 5, табл. 1) на *B. subtilis* БТ-2 (при підвищенні концентрацій ПНМ від 0,5 до 7,5 мг/л зони затримки росту тест-культур збільшувались від 0 до 11 мм). Найбільш ефективним виявився ПНМ Ag (препарат № 4, табл. 1), який характеризувався найширшим спектром бактеріцидної дії на штами мікроорганізмів (рис. 7).

ПНМ Ag (препарат № 4), як показує залежність (рис. 7), діяв як на бактеріальні, так і на дріжджові мікроорганізми. ПНМ CeO_2 (препарати № 2, № 3, табл. 1) і ПНМ Au (препарат № 6, табл. 1) не проявляли антимікробної дії на тест-культури в усьому діапазоні концентрацій.

Оскільки всі досліджувані ПНМ містять у своєму складі стабілізатори (див. табл. 1), які можуть проявляти антимікробну дію на мікроорганізми, нами були проведені додаткові дослідження антимікробної дії стабілізуючих сполук на тест-культури. У результаті цих досліджень антимікробна дія стабілізаторів не спостерігалася.

Виявлено, що всі ПНМ не діяли на мікроміцети (*A. niger* Р-3, *F. culmorum* Т-7 і *P. chrysogenum* Ф-7) і дріжджі *C. scottii* КБ-2. Імовірно, що для пригнічення росту цих мікроорганізмів необхідна вища концентрація препаратів.

Для подальших досліджень ми обрали тест-

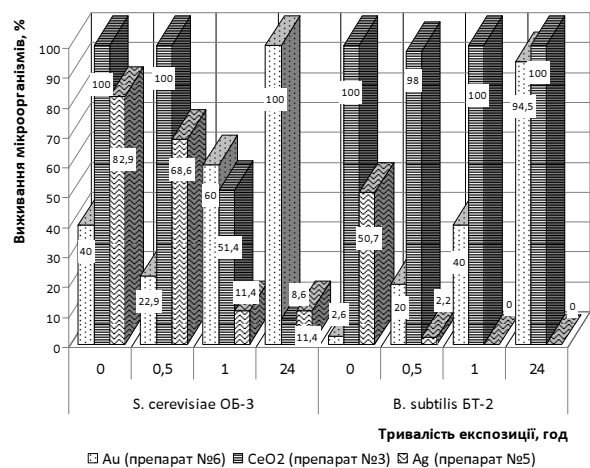


Рис. 8. Вживання добових мікроорганізмів *B. subtilis* БТ-2 і *S. cerevisiae* ОБ-3 при додаванні ПНМ Ag, Au, CeO_2 (препарати № 3, № 5, № 6, табл. 1). Початкова концентрація мікроорганізмів (КУО/мл): *B. subtilis* БТ-2 (24 год) — $4,6 \cdot 10^7$; *S. cerevisiae* ОБ-3 (24 год) — $3,5 \cdot 10^8$.

культури *S. cerevisiae* ОБ-3 і *B. subtilis* БТ-2. Це пов'язано з тим, що сахароміцети є розповсюдженими в харчовій промисловості дріжджами (наприклад, їх використовують у виробництві хліба, пива), а картопляна паличка є контамінантом харчових продуктів і може утворювати термостійкі спори. Дослідження проводили, вносячи максимальну концентрацію ПНМ 5 мг/л (препарати № 3, № 5, № 6, табл. 1).

Було встановлено, що ПНМ CeO_2 (препарат № 3, табл. 1) не спричиняв ніякої антимікробної дії на мікроорганізми *B. subtilis* БТ-2, проте пригнічував *S. cerevisiae* ОБ-3 на 50 % уже після години експозиції, а через 24 год — на 92 % (рис. 8). ПНМ Au (препарат № 6, табл. 1) починав діяти одразу, але з часом кількість живих мікроорганізмів обох культур збільшувалася майже до початкового рівня (рис. 8). ПНМ Ag (препарат № 5, табл. 1) виявився ефективнішим: він проявляв більшу бактеріцидну дію на *B. subtilis* БТ-2. Уже після години експозиції спостерігалася 100 % загибель бактерій (рис. 8).

Подальші дослідження проводили з композиціями ПНМ Ag/Au в різних співвідношеннях. Припускалося, що ПНМ будуть діяти синергічно, посилюючи антимікробну дію один одного. Оскільки активнішим антимікробним агентом виявився ПНМ Ag (препарат № 5, табл. 1), він був використаний для порівняння

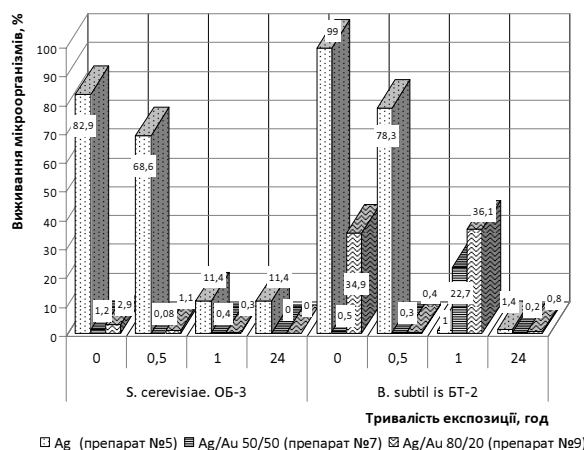


Рис. 9. Вживання добових мікроорганізмів *S. cerevisiae* ОБ-3 і вегетативних *B. subtilis* БТ-2 при дії ПНМ Ag (препарат № 5, табл. 1) та композицій ПНМ Ag/Au (препарати № 7, № 9, табл. 1). Початкова концентрація мікроорганізмів (КУО/мл): *B. subtilis* БТ-2 (24 год) — $9,2 \cdot 10^4$; *S. cerevisiae* ОБ-3 (24 год) — $4,0 \cdot 10^4$.

антимікробної дії композицій ПНМ Ag/Au. Це припущення було підтвержене дією композицій ПНМ Ag/Au на добові мікроорганізмів *S. cerevisiae* ОБ-3, а також вегетативні мікроорганізмів *B. subtilis* БТ-2 (рис. 9). При цьому вдалося знизити виживання дріжджових мікроорганізмів від 11 до 0 % після 24 год експозиції (рис. 9).

Кількісний вміст бактерій зменшувався у 200-260 разів при використанні ПНМ Ag/Au (препарати № 7, № 9, табл. 1) у порівнянні з антимікробною дією ПНМ Ag (препарат № 5, табл. 1) (рис. 9).

Відомо, що ефективність дії різних антимікробних агентів залежить від фізіологічного стану тест-культур. Тому на наступному етапі ми досліджували залежність прояву антимікробної дії ПНМ від фізіологічного стану

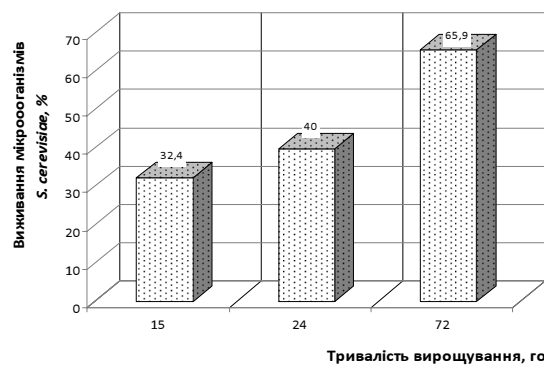


Рис. 10. Залежність антимікробної активності ПНМ Au (препарат № 6, табл. 1) від фізіологічного стану тест-культури. Початкова концентрація мікроорганізмів *S. cerevisiae* ОБ-3 (КУО/мл): 15 год — $9,0 \cdot 10^4$; 24 год — $3,5 \cdot 10^5$; 72 год — $6,3 \cdot 10^4$.

мікроорганізмів. Більшість ПНМ ефективніше впливали на «молоді» культури. Так, наприклад, за присутності ПНМ Au (препарат № 6, табл. 1) виживання п'ятнадцятигодинної культури *S. cerevisiae* ОБ-3 становило 32 %, а сімдесятидвохгодинної — 66 % (рис. 10).

Як і в попередніх дослідженнях, найефективнішим виявився препарат ПНМ Ag (препарат № 5, табл. 1). Він ефективно діяв на резистентну спорову культуру *B. subtilis* БТ-2 (72 год) (табл. 2). Аналіз результатів, наведених у табл. 2, показує, що ПНМ SeO_2 (препарат № 3, табл. 1) і ПНМ Au (препарат № 6, табл. 1) проявляли бактеріостатичну дію одразу після їх внесення, знижуючи кількість мікроорганізмів на 20-30 %, але з часом вона поверталася до початкового значення. На відміну від цих препаратів, ПНМ Ag (препарат № 5, табл. 1) через 24 год експозиції знижував виживання мікроорганізмів *B. subtilis* БТ-2 до 3,4 %.

Оскільки ПНМ Ag, Au, SeO_2 проявили ефективну дію на чисті культури мікроорганізмів, то в подальших експериментах ми вирішили дослідити їхню дію вже за внесення безпосередньо у продукт. У роботі використовували непастеризоване пиво, в яке вносили ПНМ Ag, Au, SeO_2 в концентрації 5 мг/л і композиції ПНМ Ag/Au в різних співвідношеннях. Було встановлено, що різні ПНМ активніше діють у різний період часу: ПНМ короткочасної дії (до 24 год) — Au (препарат № 6, табл. 1), Ag/Au (препарати № 8, № 9 табл. 1); ПНМ ранньої (до 1 год) і пізньої (після 168 год)

Таблиця 2

Антимікробна дія ПНМ на спорову культуру *B. subtilis* БТ-2 (72 год)

ПНМ	Вживання мікроорганізмів (%) за тривалості експозиції (год)			
	0	0,5	1	24
SeO_2 (№ 3)	58,4±2,9	86,7±4,3	53,8±2,7	95,0±5,0
Ag (№ 5)	95,0±5,0	73,7±3,7	38,9±1,9	3,4±0,2
Au (№ 6)	95,2±4,8	83,4±4,2	86,4±4,3	95,0±5,0

Примітка: початкова концентрація мікроорганізмів у суспензії культури *B. subtilis* БТ-2 (72 год) — $1,2 \cdot 10^5$ КУО/мл.

Таблиця 3

Антимікробна дія ПНМ
на мікрофлору непастеризованого пива

ПНМ	Вживання мікрофлори (%)	
	бактеріальна	дріжджова
Ag/Au 60/40 (№ 8)	95±5,0	95±5,0
Ag/Au 80/20 (№ 9)	90±4,5	95±5,0
Au (№ 6)	95±5,0	93±4,7
CeO ₂ (№ 3)	76±3,8	91±4,6
Ag (№ 5)	84±3,7	59±2,9

Примітка: початкова концентрація мікроорганізмів через 504 год (21 доба) — $1,2 \cdot 10^8$ КУО/мл. 60/40; 80/20 — співвідношення ПНМ Ag/Au відповідно (%).

дії — CeO₂ (препарат № 3, табл. 1); ПНМ пролонгованої дії (0-504 год) — Ag (препарат № 5, табл. 1). Таке явище можна пояснити зміною видової мікрофлори пива в процесі зберігання. Під кінець експозиції найефективнішим виявився ПНМ Ag (препарат № 5, табл. 1). Він, на відміну від ПНМ Ag/Au (80/20), проявляє слабшу антимікробну активність на початку експерименту, але на кінець експозиції знижував на 16 % бактеріальну і на 41 % дріжджову мікрофлору (табл. 3), а в порівнянні з дією ПНМ CeO₂ (препарат № 3, табл. 1) і ПНМ Au (препарат № 6, табл. 1) зберігав активність упродовж усього часу експозиції.

Висновки. У результаті дослідження бактерицидної дії ПНМ Ag, Au, CeO₂ на мікрофлору харчових продуктів і напівпродуктів при їх концентрації 0,5-7,5 мг/л встановлено, що вони проявляють антимікробну дію щодо *E. coli* IEM-1, *B. subtilis* БТ-2 і *S. cerevisiae* ОБ-3 (зони затримки росту до 12, 19, 0,45 мм), але не пригнічують мікроміцети (*A. niger* Р-3, *F. culmorum* Т-7 і *P. chrysogenum* Ф-7) та дріжджі *S. scottii* КБ-2. При цьому найбільш ефективним є ПНМ Ag (препарат № 5, табл. 1), що са-

мостійно або в композиції з ПНМ Au (препарати № 7, № 8, № 9, табл. 1) пригнічує майже на 100 % ріст бактерій і дріжджів уже через годину експозиції, знижує на 16 % бактеріальну та на 41 % дріжджову мікрофлору непастеризованого пива через 504 год (21 доба) експозиції, ефективно діє на резистентну спорову культуру *B. subtilis* БТ-2.

Надійшла в редакцію 15.06.2011 р.

The antimicrobial influence of preparations nanoparticles metals of microflora foodstuff

V.V. Olishovsky, A.I. Marinin, Yu.O. Dashkovsky, S.V. Tkachenko, O.B. Shcherbakov

National University of Food Technologies
68 Volodymirs'ka Str., Kyiv, 01601, Ukraine

Summary. The antimicrobial action of preparations nanoparticles metals (PNM) Ag, Au, CeO₂ in low concentration (0,5-7,5 mg/l) on pure growths of microorganisms *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* and *Saccharomyces cerevisiae* is defined. The augmentation at one-two order of the antimicrobial action PNM Ag is positioned, at addition PNM Au on pure growths of microorganisms (*B. subtilis*, *S. cerevisiae*). Established long-term antimicrobial effect on the microflora PNM Ag unpasteurized beer, such as a decrease of 16 % of bacterial and yeast microflora of 41 % over 504 h (21 day) exposure.

Keywords: preparations nanoparticles metals, zeta-potential, the antimicrobial properties, contaminating a microflora, not pasteurized beer.

Перелік літератури

1. Андриевский Р.А. Наноматериалы: концепция и современные проблемы // Рос. хим. жур. — 2002. — № 46. — С. 50.
2. Шпак А.П., Куницкий Ю.А., Карбовский В.Л. Кластерные и наноструктурные материалы. — К: Академперіодика, 2001. — 588 с. — (т. 1).
3. Sharma V.K., Yngard R.A., Lin Y. Silver nanoparticles: green synthesis and their antimicrobial activities // Adv. Colloid. Interface Sci. — 2009. — Vol. 145, No. 1-2. — P. 83-96.
4. Ревина А.А., Баранова Е.К., Мулюкин А.Л., Сорокин В.В. Некоторые особенности воздействия кластерного серебра на дрожжевые клетки *Candida utilis* // Исследовано в России. — 2005. — Т. 139. — С. 1403-1409.

5. Луцаева И.В., Моргалев С.Н. Изучение воздействия наночастиц TiO₂ и Al₂O₃ на бактерии *Pseudomonas fluorescens* и *Bacillus subtilis* // Вестник Томского государственного университета. Биология. — 2009. — Т. 8, № 4. — С. 97-105.
6. Travan A., Pelillo C., Donati I. et. al. Non-cytotoxic silver nanoparticle-polysaccharide nanocomposites with antimicrobial activity // Biomacromolecules. — 2009. — Vol. 10, No. 6. — P. 1429-1435.
7. Поляченко Ю.В., Щербаков А.Б., Усатенко А.В., Повх Г.В. Препараты серебра: вчера, сегодня, завтра. — К.: МАУП, 2007. — 66 с.
8. Поляченко Ю.В., Щербаков А.Б., Усатенко А.В., Повх Г.В. Препараты золота: вчера, сегодня, завтра. — К.: МАУП, 2007. — 64 с.

9. Кульский Л.А. Серебряная вода, ее свойства и применение. — К.: Наукова думка, 1987. — 136 с.
10. Корневский А.А., Сорокин В.В., Каравайко Г.И. Взаимодействие ионов серебра с клетками *Candida Utilis* // Микробиология. — 1993. — Т. 62, № 6. — С. 1085-1092.
11. Ермолаева В.А. Техническое использование и биологическое действие различных форм серебра // III Всероссийская межвузовская научная конференция «Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России»: тезисы докл., 4 февраля 2011 г. — Муром, 2011. — С. 602-603.
12. Мосин О.В. Золото и нанотехнологии: [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://www.o8ode.ru/article/water/nanotechnology/nanogold.htm>. — Назва з екрану.
13. Штыков С.Н., Русанова Т.Ю. Наноматериалы и нанотехнологии в химических и биохимических сенсорах: возможности и области применения // Рос. хим. журн. — 2008. — Т. LII, № 2. — С. 92-100.
14. Жолобак Н.М., Щербаков А.Б., Усатенко А.В. и др. Антивирусное действие наночастиц диоксида церия, стабилизированных низкомолекулярной полиакриловой кислотой // Мікробіологічний журнал. — 2010. — Т. 72, № 3. — С. 42-47.