

УДК 637.334.2:616-093

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.2.32>

МІКРОБІОЛОГІЧНИЙ СКРИНІНГ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО СИЧУЖНОГО СИРУ «УКРАЇНСЬКИЙ» ЗА ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ MALDI-TOF

Якубчак О.М. – д.вет.н.,

професор кафедри гігієни тварин і харчових продуктів

імені професора А.К. Скороходька,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

orcid.org/0000-0002-9390-6578

Мартиненко О.А. – директор лабораторії «Лімарія»

orcid.org/0009-0001-8239-2583

Таран Т.В. – к.вет.н.,

доцент кафедри гігієни тварин і харчових продуктів

імені професора А.К. Скороходька,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

orcid.org/0000-0002-9370-8539

Метою проведених досліджень було здійснення мікробіологічного моніторингу на всіх етапах виробництва твердого сичужного сиру «Український» – від молока-сировини до готового продукту – з використанням сучасної технології MALDI-TOF мас-спектрометрії. Особливу увагу приділено виявленню мікроорганізмів, що мають клінічне значення для здоров'я людини і тварин. **Методологія дослідження** полягала у накопиченні та ідентифікації мікроорганізмів шляхом секторних посівів на відповідні диференційно-діагностичні середовища для аеробних і анаеробних форм, з подальшою ідентифікацією із застосуванням технології MALDI-TOF. Вибір проб здійснювався на початковому етапі виробництва від молока-сировини до бактофузування та на кінцевому етапі виробництва від сиру твердого сичужного після дозрівання протягом 30 діб. Дослідження проводили в трьох повторах по 15 зразків щоразу. Результати досліджень піддали статистичній обробці та аналізу. Статистичну обробку результатів проводили за допомогою програми ANOVA.

Результати свідчать про присутність мікрофлори на кожному з досліджених етапів виробничого процесу. У ході досліджень, як у молоці-сировині, так і в готовому твердому сичужному сирі «Український» було виділено та ідентифіковано 18 видів мікроорганізмів. Проте їх склад і чисельність змінювалися залежно від стадії виробництва. Особливо тривожним є виявлення таких потенційно патогенних мікроорганізмів, як *Acinetobacter baumannii* та *Escherichia coli*, як у молоці-сировині, так і в кінцевому продукті. Крім того, у зрілому сирі твердого сичужного поряд з *Acinetobacter baumannii* та *Escherichia coli* виявлено *Klebsiella pneumoniae* – збудник, що викликає серйозні захворювання щодо мікробіологічної безпеки молочної продукції. З метою уникнення потрапляння в готовий продукт потенційно небезпечної мікрофлори слід проводити постійний моніторинг даних мікроорганізмів.

Ключові слова: сир сичужний, *Escherichia coli*, *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, MALDI-TOF.

Iakubchak O.V., Martynenko O.A., Taran T.V. Microbiological screening of the production of hard rennet cheese “Ukrainian” using Maldit-Tof technology

The aim of the conducted research was to perform microbiological monitoring at all stages of the production process of hard rennet cheese “Ukrainian” – from raw milk to the final product – using the modern MALDI-TOF mass spectrometry technology. Particular attention was paid to the detection of microorganisms with clinical relevance to human and animal health. The methodology involved the accumulation and identification of microorganisms through sectoral

inoculation on appropriate differential diagnostic media for both aerobic and anaerobic forms, followed by identification using MALDI-TOF technology. Sampling was carried out at the initial stage of production – from raw milk to bactofugation – and at the final stage, from matured hard rennet cheese after 30 days of ripening. The study was conducted in three replicates, each including 15 samples. The research results were statistically processed and analyzed using the ANOVA software.

The results indicate the presence of microbiota at each examined stage of the production process. In total, 18 species of microorganisms were isolated and identified both from raw milk and the final product – hard rennet cheese “Ukrainian.” However, the composition and abundance of the microflora varied depending on the production stage. Of particular concern was the detection of potentially pathogenic microorganisms such as *Acinetobacter baumannii* and *Escherichia coli* in both raw milk and the final product. Moreover, in the matured hard rennet cheese, *Klebsiella pneumoniae* was identified alongside *Acinetobacter baumannii* and *Escherichia coli* – a pathogen that raises serious concerns regarding the microbiological safety of dairy products. To prevent the entry of potentially hazardous microflora into the final product, continuous monitoring of these microorganisms is strongly recommended.

Key words: rennet cheese, *Escherichia coli*, *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, MALDI-TOF.

Постановка проблеми. Молоко та молочні продукти є важливою складовою раціону харчування людини, адже воно є важливим джерелом білків, лактози, молочного жиру, а також біологічно активних речовин. Завдяки багатому хімічному складу та оптимальним фізичним властивостям, сприятливим для більшості мікроорганізмів, молоко є ідеальним середовищем для їх росту та розвитку.

Основну частину мікробіоти молока складають мезофільні аеробні та факультативно анаеробні мікроорганізми, які ростуть у присутності кисню. Ця група бактерій є мікробіологічним індикатором якості харчових продуктів, який вказує на ефективність температурної обробки та виконання санітарно-гігієнічних вимог під час отримання, первинної переробки молока-сировини, транспортування та зберігання. Наявність мезофільних аеробних мікроорганізмів також може свідчити про джерела контамінації під час переробки молока [1, с. 121]. У молочній промисловості мікробіологічна безпечність сирого молока є основою виробництва технології продукту належної якості. Так, постійною мікрофлорою сирого молока є *Corynebacterium spp.*, серед яких окремі види можуть бути патогенними для тварин і людей. Ці бактерії можуть бути і в готових молочних продуктах, зокрема, сирах і це також може нести небезпеку для здоров'я людини [2, с. 6]. Тому дослідження мікрофлори, яка може переходити із сировини до готових молочних продуктів і становити небезпеку для споживача, є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Молоко-сировина, що надходить на молокопереробні підприємства може містити різні мікроорганізми, однак особлива увага належить умовно-патогенним та патогенним, оскільки вони можуть становити загрозу для життя та здоров'я людей і тварин. В одному із досліджень показано різноманітність мікрофлори молока-сировини, зокрема тих мікроорганізмів, які викликають мастити у корів: *Staphylococcus* та *Streptococcus spp.* [3, с. 7, 8].

Мікроорганізми, такі як Enterobacteriaceae вважаються індикаторними бактеріями щодо мікробіологічної якості харчових продуктів та гігієнічного стану виробничого процесу. Крім того, харчові продукти, забруднені Enterobacteriaceae, становлять мікробіологічний ризик для споживачів. Забруднення сирого молока Enterobacteriaceae під час виробництва може легко відбуватися з різних джерел навколишнього середовища, і ця група бактерій часто виявляється в молочних продуктах [4, с. 18].

Деякі дослідники виділяють дві основні групи мікробних забруднювачів сирого молока, які впливають на якість переробних молочних продуктів психрофільні (наприклад *Pseudomonas*) та спороутворюючі бактерії (наприклад *Raenibacillus* та *Clostridium*). Високі початкові концентрації цих груп бактерій або зростання їх кількості через неправильне охолодження бо зберігання можуть призвести до розвитку термостабільних ферментів, що викликає вади запаху та консистенції тощо [4, с. 1, 2]. Важливим у зменшенні кількості бактерій у сирому молоці, зокрема, спороутворюючих бактерій є дотримання стандартних операційних процедур під час отримання молока на фермах [5, с. 11, 12].

Умовно-патогенні мікроорганізми, такі як *Staphylococcus aureus*, здатні розмножуватися в молочних продуктах, впливати на їхні органолептичні показники та накопичувати токсини. Найчастіше присутність цього збудника реєструють у молоці-сировині у зв'язку з не належною гігієною на фермі, проте також мають вплив і гігієна під час доїння та гігієна обслуговуючого персоналу, захворювання корів на мастит [5, с. 15-16].

Патогенні мікроорганізми – збудники інфекційних захворювань – у молоці та молочних продуктах тривалий час можуть зберігати свою життєздатність та створювати небезпеку для споживачів. Зокрема бактерії роду *Enterococcus*, виділені із сирого молока та готових молочних продуктів, здатні утворювати біоплівку, що підкреслює необхідність постійного моніторингу мікробної адгезії на підприємствах з виробництва молочних продуктів [6, с. 4].

У сирому молоці можуть міститися й інші мікроорганізми, що можуть становити ризик для здоров'я людей і тварин [7, с. 6, 7; 8, с. 5]. Саме тому для знешкодження небажаних мікроорганізмів під час переробки молока-сировини його піддають впливу ряду технологічних факторів, таких як бактофугування, пастеризація тощо.

Методика досліджень. Зразки збірного молока-сировини відбирались у ТОВ «Гайсинський молокозавод», що розташований в м. Гайсин Вінницької області. На підприємстві впроваджена система менеджменту безпечності харчових продуктів відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 22000. Зразки відбирали на початковому та кінцевому технологічних етапах виробництва сиру твердого сичужного «Український – молоко-сировину та сир після дозрівання протягом 30 діб. На кожному етапі виробництва відбирали по 15 зразків для мікробіологічних досліджень. Дослідження проводили у трьох повторях.

Мікробіологічний скринінг молока та сиру проводили методом MALDI-TOF, що відповідає стандарту ДСТУ ISO 16140:2006 [9, с. 3-5]. Для підрахунку мікроорганізмів використовували метод секторних посівів.

Приготування живильних середовищ для мікроорганізмів проводили згідно інструкції від виробника.

Результати досліджень піддали статистичній обробці та аналізу. Статистичну обробку отриманих результатів проводили за допомогою програми ANOVA, дані в таблицях подано у вигляді $\bar{x} \pm SD$ (середнє $\pm$ стандартне відхилення). Різницю між групами вважали вірогідною за $P < 0,05$ (taking into account the Bonferroni correction).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Молочні продукти та технологічні ланцюги їх виробництва можуть бути депо для передачі бактерій, що осіменяють молоко-сировину, циркулюють на переробних підприємствах та можуть залишатися в готових молочних продуктах і бути загрозою для здоров'я споживачів. Тому

дослідження мікрофлори молока-сировини та готового продукту може дати розуміння того, які з бактерій циркулюють на підприємстві та можуть потрапляти у готовий молочний продукт.

Постановка завдання. Метою роботи було провести мікробіологічний скринінг за допомогою технології Maldi TOF молока-сировини і готового молочного продукту та провести аналіз мікроорганізмів, що є клінічно значимі для здоров'я людей і тварин.

Виклад основного матеріалу. На першому етапі технологічного процесу виготовлення твердого сичужного сиру «Український» під час дослідження зразків збірного молока-сировини до бактофугування було виділено 18 видів мікроорганізмів (табл. 1).

Таблиця 1

Види бактерій, виділених із молока-сировини на першому етапі технологічного процесу – до бактофугування. $M \pm m$, $n=45$

№ п/п	Види мікроорганізмів, що були виділені	Кількість мікроорганізмів, КУО/см ³	% проб з виділеними бактеріями
1	<i>Escherichia coli</i>	$2,5 \pm 0,2 \times 10^4$	100
2	<i>Lactococcus garvieae</i>	$1 \pm 0,04 \times 10^1$	66
3	<i>Staphylococcus aureus</i>	$1 \pm 0,01 \times 10^1$	66
4	<i>Streptococcus uberis</i>	$1 \pm 0,02 \times 10^1$	66
5	<i>Enterococcus faecalis</i>	$1 \pm 0,001 \times 10^1$	50
6	<i>Enterobacter ludwigii</i>	$1 \pm 0,004 \times 10^1$	33
7	<i>Enterobacter cloacae</i>	$1 \pm 0,03 \times 10^1$	33
8	<i>Enterobacter bugandensis</i>	$1 \pm 0,02 \times 10^1$	33
9	<i>Kurthia gibsonii</i>	$1 \pm 0,1 \times 10^1$	33
10	<i>Enterococcus faecium</i>	$1 \pm 0,002 \times 10^1$	17
11	<i>Macroccoccus caseolyticus</i>	$1 \pm 0,001 \times 10^1$	17
12	<i>Hafnia alvei</i>	$1 \pm 0,001 \times 10^1$	17
13	<i>Citrobacter freundii</i>	$1 \pm 0,02 \times 10^2$	17
14	<i>Acinetobacter baumannii</i>	$1 \pm 0,01 \times 10^1$	17
15	<i>Acinetobacter nosocomialis</i>	$1 \pm 0,03 \times 10^1$	17
16	<i>Lactococcus lactis</i>	$1 \pm 0,04 \times 10^1$	17
17	<i>Enterobacter kobei</i>	$1 \pm 0,01 \times 10^1$	17
18	<i>Citrobacter braaki</i>	$1 \pm 0,05 \times 10^1$	17

Із усіх проб молока-сировини було виділено грамнегативну бактерію *Escherichia coli*, що свідчить про її значно домінуючу кількість над іншою мікрофлорою. У 66% випадків із молока-сировини виділяли *Streptococcus uberis* та *Staphylococcus aureus*, які є збудниками маститу у корів. *Streptococcus uberis* вважається не патогенним для людини, однак це може бути пов'язано з труднощами у ідентифікації даної інфекції.

Значна кількість виділеної мікрофлори молока була фекального походження. У 50% зразків виділено *Enterococcus faecalis*, у 33% проб – *Enterobacter cloacae* та *Enterobacter bugandensis*. Це свідчить про недотримання гігієнічних вимог під час отримання молока-сировини на фермах, з яких постачають його на молокопереробне підприємство. Також виділяли інші бактерії: *Kurthia gibsonii*, *Lactococcus*

lactis, *Hafnia alvei*, *Acinetobacter nosocomialis*, *Lactococcus garvieae*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter kobei*, *Citrobacter braaki*, *Macrococcus caseolyticus*, *Enterococcus faecium*, *Enterobacter ludwigii*. Серед них клінічно значимим щодо захворювання людей є *Citrobacter braakii*, оскільки він є раневою мікрофлорою (особливо вмістиме ран) [10, с. 5-7] та *Acinetobacter baumannii*, який є збудником інфекцій дихальних шляхів, крові, черевної порожнини, сечовивідних шляхів, травматичних інфекцій, інфекцій центральної нервової системи, шкірних інфекцій, що супроводжуються ризиком важких ускладнень. Дана бактерія дуже стійка до антибіотиків та дезінфектантів, саме тому дуже часто є внутрішньолікарняною флорою [11, с. 2].

Другим етапом було дослідження сиру після дозрівання 30 діб. У готовому твердому сичужному сирі було ідентифіковано також 18 видів мікроорганізмів (табл. 2).

Таблиця 2

Бактерії, виділені зі зразків твердого сичужного сиру «Український».
 $M \pm m$, n=45

№ п/п	Мікроорганізми, що були ідентифіковані	Кількість мікроорганізмів, КУО/см ³	% проб з виділеними бактеріями
1	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	$1 \pm 0,05 \times 10^3$	100
2	<i>Escherichia coli</i>	$5,6 \pm 0,01 \times 10^2$	83
3	<i>Enterococcus faecalis</i>	$1 \pm 0,002 \times 10^1$	66
4	<i>Lactococcus lactis</i>	$1,28 \pm 0,02 \times 10^2$	66
5	<i>Bacillus cereus</i>	$1 \pm 0,002 \times 10^1$	50
6	<i>Acinetobacter baumannii</i>	$1 \pm 0,002 \times 10^1$	50
7	<i>Enterococcus faecium</i>	$1,33 \pm 0,001 \times 10^1$	50
8	<i>Macrococcus caseolyticus</i>	$1 \pm 0,002 \times 10^1$	33
9	<i>Kurthia gibsonii</i>	$1 \pm 0,02 \times 10^1$	33
10	<i>Enterobacter cloacae</i>	$5 \pm 0,06 \times 10^2$	33
12	<i>Pseudomonas putida</i>	$1 \pm 0,01 \times 10^1$	17
13	<i>Corynebacterium flavesces</i>	$1 \pm 0,02 \times 10^1$	17
14	<i>Lysinibacillus sphaericus</i>	$1 \pm 0,01 \times 10^1$	17
15	<i>Enterobacter asburiae</i>	$1 \pm 0,01 \times 10^1$	17
16	<i>Enterobacter xiangfangensis</i>	$1 \pm 0,02 \times 10^1$	17
17	<i>Staphylococcus hominis</i>	$1 \pm 0,01 \times 10^1$	17
18	<i>Micrococcus luteus</i>	$1 \pm 0,03 \times 10^1$	17

Таким чином, готовий продукт також містить ряд мікроорганізмів.

За результатами досліджень відзначили високий вміст *Escherichia coli* – 10^2 у 83% випадків. *Klebsiella pneumoniae* була ідентифікована у сирі після пресування та в готовому сирі у 100% проб, хоча на початковому етапі цієї бактерії виявлено не було, що свідчить про потрапляння її під час технологічних операцій на підприємстві, що вимагає подальших досліджень джерела появи цього мікроорганізму.

У кінцевому продукті – сирі твердому сичужному «Український» серед виділених мікроорганізмів *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* викликають особливе занепокоєння щодо безпечності сиру.

Необхідно зазначити, що на кінцевому етапі ідентифіковані бактерії, які не були виділені на першому етапі переробки молока: *Micrococcus luteus*, *Corynebacterium flavesces*, *Staphylococcus hominis*, *Lysinibacillus sphaericus*, *Enterobacter asburiae*,

Corynebacterium flavescentis. Ймовірноше за все, вони входили до складу заквасочних культур мікроорганізмів, які додаються під час виготовлення сиру. Однак *Lysinibacillus sphaericus* може траплятися в шлунково-кишковому тракті людини, а її звичним місцем перебування є ґрунт. Також дана бактерія описана як збудник хвороб комах, що присутній повсюдно у навколишньому середовищі. Їх часто вважають забруднювальними бактеріями, які відносно рідко викликають інфекційні захворювання у людей [12, с. 7-9].

Товариство інфекціоністів Америки (IDSA) включили *A. baumannii* до видів ESKAPE (акронім *Enterococcus faecium* *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *A. baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* та *Enterobacter*), які викликають більшість внутрішньолікарняних інфекцій у Сполучених Штатах Америки і в усьому світі та часто є антибіотикорезистентними [11, с. 2].

На кінцевому етапі виробництва сиру виділяли також *Bacillus cereus*. Ці бактерії не виділяли у зразках з молока-сировини. *Bacillus cereus* – це спороутворюючий мікроорганізм, який нерідко виділяється з молочних продуктів. Оскільки мікроорганізм поширений у навколишньому середовищі, то він може обсеменяти молоко під час доїння та здатний потрапляти у молочні продукти на кожній стадії переробки, зберігання та дозрівання сиру. Обробка пастеризацією молока не є ефективною для *Bacillus cereus*, натомість пастеризація може діяти як активатор проростання спор [8, с. 2].

Бентежить також факт появи *Klebsiella pneumoniae* у кінцевому продукті після дозрівання.

Для більш поглибленого розуміння джерел потрапляння мікроорганізмів у зразки на початковому та кінцевому етапі технологічного процесу виробництва сиру перспективним є вивчення мікробіоти обладнання, заквасок та розсолу для соління сиру, а також чутливості найбільш значимих мікроорганізмів до антибактеріальних засобів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Мікробіологічний скринінг сиру твердого сичужного «Український» за допомогою технології MALDI-TOF показав наявність мікроорганізмів на початковому та кінцевому етапах його виробництва.

Деякі мікроорганізми, які виділені в молоці-сировині, ідентифіковані і в кінцевому продукті: *Acinetobacter baumannii* та *Escherichia coli*. У зв'язку з цим в умовах виробництва необхідно здійснювати моніторинг вказаних мікроорганізмів з метою їх контролю та запобігання появи в готовому сирі.

Такий, клінічно значимий мікроорганізм, як *Klebsiella pneumoniae*, потрапив також до кінцевого продукту. Це свідчить про неналежний контроль у ході виробництва та недостатньо проведені санітарні заходи для уникнення контамінації сторонньою мікрофлорою.

Даний експеримент потребує подальших досліджень, зокрема, дослідження чутливості виділених бактерій до антибіотиків, та як впливають технологічні процеси на їх значення.

Загалом у кінцевому продукті – сирі твердому сичужному «Український» – було виділено та ідентифіковано 18 видів мікроорганізмів, серед яких *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, що викликають особливе занепокоєння стосовно безпечності сиру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Букалова, Н. В., Приліпко, Т. М., Богатко та ін. (2022). Санітарно-гігієнічний контроль виробництва молока-сировини коров'ячого та його мікробіологічний аналіз. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2022. № 3. С. 119–127. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.13>
2. Woudstra, S., Lücken, A., Wente, N. et al. Reservoirs of *Corynebacterium* spp. in the Environment of Dairy Cows. *Pathogens (Basel, Switzerland)*. 2023. № 12(1). С. 139. <https://doi.org/10.3390/pathogens12010139>
3. Woudstra, S., Wente, N., Zhang, Y. et al. Reservoirs of *Staphylococcus* spp. and *Streptococcus* spp. Associated with Intramammary Infections of Dairy Cows. *Pathogens (Basel, Switzerland)*. 2023. № 12(5). С. 699. <https://doi.org/10.3390/pathogens12050699>
4. Mladenović, K. G., Grujović, M. Ž., Kiš, M. et al. Enterobacteriaceae in food safety with an emphasis on raw milk and meat. *Applied microbiology and biotechnology*. 2021. № 105(23). С. 8615–8627. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11655-7>
5. Khan, J. A., Ahmad, I., Gill, R. et al. Prevalence, Cross Contamination, Virulence, and Multidrug Resistance Profiles of *Staphylococcus aureus* Isolates from Four Middle-Scale Dairy Farms in Bareilly, Northern India. *Foodborne pathogens and disease*. 2024. 10.1089/fpd.2024.0076. Advance online publication. <https://doi.org/10.1089/fpd.2024.0076>
6. Gajewska, J., Chajęcka-Wierzchowska, W., Byczkowska-Rostkowska, Z. et al. Biofilm Formation Capacity and Presence of Virulence Determinants among *Enterococcus* Species from Milk and Raw Milk Cheeses. *Life (Basel, Switzerland)*. 2023. № 13(2). С. 495. <https://doi.org/10.3390/life13020495>
7. Birlutiu, V., Birlutiu, R. M., Dobritoiu, E. S. *Lelliottia amnigena* and *Pseudomonas putida* Coinfection Associated with a Critical SARS-CoV-2 Infection: A Case Report. *Microorganisms*. 2023. № 11(9). С. 2143. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11092143>
8. Tirloni, E., Stella, S., Celandroni, F. et al. *Bacillus cereus* in Dairy Products and Production Plants. *Foods (Basel, Switzerland)*. 2023. № 11(17). С. 2572. <https://doi.org/10.3390/foods11172572>
9. ДСТУ ISO 16140:2006 Мікробіологія харчових продуктів та кормів для тварин. Протокол валідації альтернативних методів (ISO 16140:2003, IDT). (2006) [Чинний від 2007-10-1] https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=84232 (Дата звернення 03.07.2025).
10. Prasanna V., Rana R., Kumar D. D. et al. Bacteremia due to carbapenem-resistant *Citrobacter braakii* *J Family Med Prim Care*. 2022. № 11(6). С. 3395. <https://ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9480654/>
11. Chang-Ro L., Jung H. L., Moonhee P. et al. Biology of *Acinetobacter baumannii*: Pathogenesis, Antibiotic Resistance Mechanisms, and Prospective Treatment Options *Front. Cell Infect Microbiol*. 2017. № 7. С. 55 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5346588/>
12. Chooduang S., Surya W., Torres J. et al. An aromatic cluster in Lysinibacillus sphaericus BinB involved in toxicity and proper in-membrane folding. *Archives of biochemistry and biophysics*. 2018. № 660. С. 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2018.10.006>

Дата першого надходження рукопису до видання: 02.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 23.10.2025

Дата публікації: 05.12.2025