

УДК 637.3:579.8:543.6

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.49>

ВИЗНАЧЕННЯ СОЛЕСТІЙКОСТІ ЛАКТОБАКТЕРІЙ ТА БІФІДОБАКТЕРІЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КАПСУЛЬОВАНИХ ПРОБІОТИЧНИХ ПРОДУКТІВ

Ткаченко Н. А. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології молока, олійно-жирових продуктів та індустрії краси Одеського національного технічного університету
ORCID ID: 0000-0002-2557-3927
Researcher ID: E-1313-2016

Кучерак П. В. – аспірант кафедри технології молока, олійно-жирових продуктів та індустрії краси Одеського національного технічного університету
ORCID ID: 0009-0005-8863-1476
Researcher ID: MFZ-7892-2025

Процес капсулювання пробіотичних культур має на меті захистити бактерії від негативних впливів навколишнього середовища, зокрема від кислого середовища шлунка та механічних пошкоджень. Капсулювання забезпечує вищу життєздатність бактерій до моменту їх потрапляння у кишечник. Однак важливо врахувати, що під час виробництва капсульованих продуктів необхідно вибирати відповідні матеріали для оболонок капсул, які не тільки забезпечують стійкість до кислого середовища, але й підтримують активність бактерій в умовах високих концентрацій солі.

Метою наукової роботи стало визначення солестійкості культур лакто- та біфідобактерій для виробництва капсульованих пробіотичних сирів. Проведені дослідження свідчать, що капсули пробіотичних сирів, вироблені із застосуванням мезофільних молочнокислих лактококів, містять вищу концентрацію лактокультур у порівнянні з капсулами пробіотичних сирів, вироблених із застосуванням термофільних стрептококів, що пояснюється вищою концентрацією мезофільних культур у порівнянні з термофільними у вихідних капсулах сирів до соління. Концентрація життєздатних клітин біфідобактерій після соління у капсулах пробіотичних сирів складає $(0,2 \dots 7,8 \times 10^9 \text{ КУО/г})$, що пояснюється досить високим ступенем виживання досліджених культур біфідобактерій – $0,84 \dots 0,96$.

Тому для виробництва капсульованих пробіотичних сирів доцільно як лактокультури використовувати мезофільні молочнокислі лактококи та будь-яку із досліджених культур біфідобактерій – *Bifidobacterium bifidum* BB 03, *Bifidobacterium longum* subsp. *longum* BL 03, *Bifidobacterium adolescentis* BA 03, *Bifidobacterium breve* BR 03 або *B. longum* subsp. *animalis* Bb-12. Комбінування мезофільних молочнокислих лактококів з дослідженими культурами біфідобактерій у капсулах пробіотичних сирів забезпечує високу концентрацію усіх культур після соління, що буде здійснювати пробіотичний вплив на споживача.

Ключові слова: капсульований пробіотичний сир, біфідобактерії, мезофільні молочнокислі лактококи, термофільні стрептококи, солестійкість.

Tkachenko N. A., Kuchera P. V. Determination of salt resistance of lactobacteria and bifidobacteria for the production of encapsulated probiotic products

The process of encapsulation of probiotic cultures aims to protect bacteria from negative environmental influences, in particular from the acidic environment of the stomach and mechanical damage. Encapsulation ensures higher viability of bacteria until they enter the intestine. However, it is important to consider that during the production of encapsulated products it is necessary to choose appropriate materials for capsule shells, which not only provide resistance to the acidic environment, but also support the activity of bacteria in conditions of high salt concentrations.

The aim of the scientific work was to determine the salt resistance of lacto- and bifidobacteria cultures for the production of encapsulated probiotic cheeses. The conducted studies show that probiotic cheese capsules produced using mesophilic lactic acid lactococci contain a higher concentration of lactocultures compared to probiotic cheese capsules produced using thermophilic

streptococci, which is explained by the higher concentration of mesophilic cultures compared to thermophilic ones in the original cheese capsules before salting. The concentration of viable bifidobacteria cells after salting in probiotic cheese capsules is $(0.2...7.8) \times 10^9$ CFU/g, which is explained by the rather high survival rate of the studied bifidobacteria cultures – 0.84...0.96.

Therefore, for the production of encapsulated probiotic cheeses, it is advisable to use mesophilic lactic acid lactococci and any of the studied bifidobacteria cultures – Bifidobacterium bifidum BB 03, Bifidobacterium longum subsp. longum BL 03, Bifidobacterium adolescentis BA 03, Bifidobacterium breve BR 03 or B. longum subsp. animalis Bb-12. Combining mesophilic lactic acid lactococci with the studied bifidobacteria cultures in probiotic cheese capsules provides a high concentration of all cultures after salting, which will have a probiotic effect on the consumer.

Key words: *encapsulated probiotic cheese, bifidobacteria, mesophilic lactic acid lactococci, thermophilic streptococci, salt tolerance.*

Вступ. Процес капсулювання пробіотичних культур має на меті захистити бактерії від негативних впливів навколишнього середовища, зокрема від кислого середовища шлунка та механічних пошкоджень. Капсулювання забезпечує вищу життєздатність бактерій до моменту їх потрапляння у кишечник [1–3]. Однак важливо врахувати, що під час виробництва капсульованих продуктів необхідно вибирати відповідні матеріали для оболонки капсул, які не тільки забезпечують стійкість до кислого середовища, але й підтримують активність бактерій в умовах високих концентрацій солі.

Різні методи капсулювання, такі як використання желатинових, альгінатних або гідроксипропілметилцелюлозних оболонки, можуть впливати на ефективність збереження пробіотичних властивостей бактерій.

Постановка проблеми. Одним із важливих аспектів є вплив на солестійкість під час капсулювання. Наприклад, при використанні різних полімерних матеріалів оболонки капсул, які є компонентами продуктів, таких як натрієвий альгінат або карбоксиметилцелюлоза, змінюються умови зберігання і солестійкість бактерій. У деяких випадках, підвищена вологість та концентрація солі може значно знижувати життєздатність бактерій. Крім того, при виробництві капсульованих пробіотичних сирів актуальним завданням є вибір культур лакто- та біфідобактерій з підвищеною стійкістю до кухонної солі [1–3].

Метою наукової роботи стало визначення солестійкості культур лакто- та біфідобактерій для виробництва капсульованих пробіотичних сирів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологія будь-якого сиру, у т.ч. капсульованого, зводиться до створення умов для розвитку мікрофлори, яка вноситься із закваскою [4–7]. Традиційно у виробництві сирів використовують закваски лактобактерій, але останні десятиліття відзначені розробленням технологій сирів профілактичного напрямку з біфідобактеріями [4, 6–7], які можуть вироблятися також у капсульованому вигляді. Лакто- та біфідобактерії дуже чутливі до солі кухонної, тому важливим аспектом наукових досліджень у напрямку розроблення технологій капсульованих пробіотичних сирів профілактичного призначення є вибір заквашувальних культур лакто- та біфідобактерій з підвищеною стійкістю до солі кухонної [1–3].

Солестійкість мікроорганізмів є важливою характеристикою, що визначає їхню життєздатність у різних середовищах, включаючи продукти харчування, пробіотичні препарати та біотехнологічні процеси. Лактобактерії (*Lactobacillus*) і біфідобактерії (*Bifidobacterium*) є ключовими представниками пробіотичних мікроорганізмів, що відіграють важливу роль у підтримці здоров'я людини. Дослідження їхньої стійкості до підвищених концентрацій солі є актуальним для розширення їхнього застосування в харчовій промисловості та медицині.

Лактобактерії є факультативними анаеробами, які здатні адаптуватися до різних умов навколишнього середовища. Солестійкість різних штамів *Lactobacillus* залежить від їхнього походження, генетичних особливостей та адаптаційних механізмів. Дослідження показують, що більшість представників роду *Lactobacillus* можуть витримувати концентрації NaCl у межах 4...10%, а деякі штами демонструють виживаність навіть при 12...15% солі. Основними механізмами адаптації до підвищеної осмолярності є: синтез осмопротекторних сполук (наприклад, проліну, гліцину, трегалози); активний іонний транспорт через мембрану; зміни у складі мембранних ліпідів для підтримки гомеостазу клітини [1–2].

Біфідобактерії є облигатно анаеробними бактеріями, що населяють кишечник людини та тварин. Вони менш толерантні до високих концентрацій солі порівняно з лактобактеріями. Більшість видів *Bifidobacterium* зростають при концентрації NaCl до 2...4%, хоча окремі штами демонструють стійкість до 6...8%. Основні адаптаційні механізми біфідобактерій включають: вироблення екзополісахаридів, що захищають клітини від осмотичного стресу; регуляцію експресії генів, відповідальних за осморегуляцію; використання альтернативних шляхів метаболізму для підтримки енергетичного балансу [3].

На солестійкість *Lactobacillus* і *Bifidobacterium* впливає низка факторів, зокрема: видові та штамові особливості – різні штами одного виду можуть мати значні відмінності в стійкості; склад середовища – наявність органічних осмопротекторів (амінокислот, цукрів) підвищує виживаність бактерій; тривалість експозиції – короткочасне перебування в солоному середовищі може сприяти адаптації, тоді як тривалий вплив викликає інгібування росту; температурний режим – зниження температури може покращувати стійкість за рахунок уповільнення метаболічних процесів [1–3].

Отже, солестійкість лакто- і біфідобактерій є важливим фактором, що визначає їхню життєздатність у різних умовах. Лактобактерії демонструють вищу толерантність до кухонної солі порівняно з біфідобактеріями, що пов'язано з їхніми фізіологічними особливостями [1–3].

При виробництві капсульованих пробіотичних сирів важливо зберегти активність лакто- і біфідобактерій навіть в умовах підвищених концентрацій йонів натрію. Вивчення солестійкості цих бактерій важливе для розуміння того, як вони будуть функціонувати після потрапляння в організм та при проходженні через шлунково-кишковий тракт, де концентрація солі кухонної може бути досить високою.

Виклад основного матеріалу. Для визначення солестійкості культур мезофільних молочнокислих лактококків, термофільних стрептококків та біфідобактерій було досліджено кількість життєздатних клітин досліджуваних культур: *L. lactis* ssp., *S. thermophilus*, *Bifidobacterium bifidum* BB 03, *Bifidobacterium longum* subsp. *longum* BL 03, *Bifidobacterium adolescentis* BA 03, *Bifidobacterium breve* BR 03, *B. longum* subsp. *animalis* Bb-12, у капсулах пробіотичного сиру.

На першому етапі досліджень виробляли капсули пробіотичних сирів діаметром 10 мм, використовуючи заквашувальні композиції із лакто- та біфідобактерій (комбінували мезофільні молочнокислі лактококи і термофільні стрептококи з кожною із досліджуваних п'яти культур біфідобактерій). Співвідношення культур лакто- та біфідобактерій було обрано згідно рекомендацій, наведених у [8–9].

Вироблені капсули пробіотичних сирів солили у розсолі з масовою часткою солі кухонної 18...20% за температури 12...14°C і відносної вологості повітря

85...95% протягом 30 хв. Через кожні 7,5 хв. відбирали проби з верхнього, середнього та центрального шарів капсул пробіотичних сирів, визначали у них кількість життєздатних клітин лакто- та біфідобактерій і розраховували коефіцієнт виживання закашувальних культур (рис. 1 та рис. 2 відповідно).

Порівняння ступеню виживання мезофільних молочнокислих лактококів і термофільних молочнокислих стрептококів при солінні капсул пробіотичних сирів свідчить про вищу стійкість останніх до наявності в продуктах солі: коефіцієнт їх виживання у сирах вищий, ніж коефіцієнт виживання мезофільних молочнокислих лактококів (рис. 1), що узгоджується з літературними даними [1, 2]. В середньому та центральному шарах капсул пробіотичних сирів ступінь виживання лактобактерій вищий, ніж у верхньому шарі, що пояснюється вищою масовою часткою солі кухонної у верхньому шарі капсул.

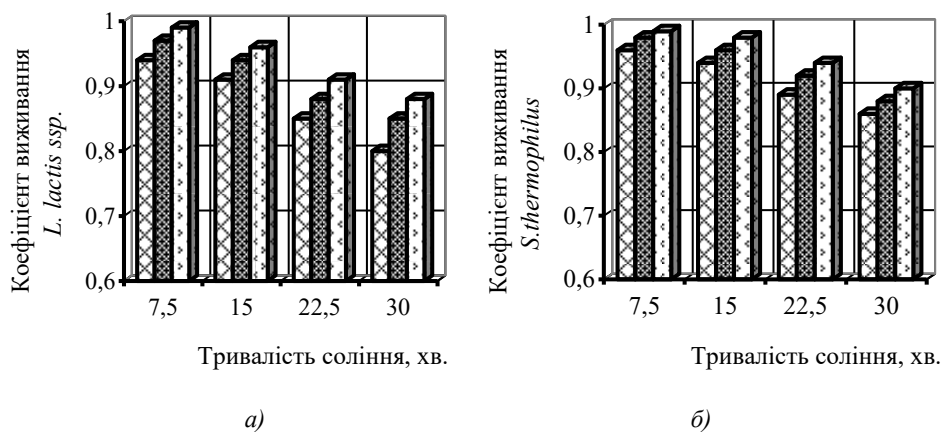


Рис. 1. Залежність коефіцієнту виживання мезофільних молочнокислих лактококів (а) та термофільних стрептококів (б) від тривалості соління у: – верхньому шарі капсули пробіотичного сиру; – середньому шарі капсули пробіотичного сиру; – центральному шарі капсули пробіотичного сиру

Біфідобактерії проявляють вищу чутливість до підвищених концентрацій солі, ніж лактокультури, що відповідає літературним даним [3, 9]. Найвищу стійкість до підвищених концентрацій солі мають *B. bifidum* та *B. animalis*, дещо нижчу – *B. adolescentis* та *B. breve*, найнижчу – *B. longum* (рис. 2). Через 22,5 та 30 хв. соління коефіцієнт виживання досліджених видів біфідобактерій у верхньому шарі сирів складає 0,77...0,80 та 0,67...0,73, тоді як через 15 хв. він складає 0,84...0,86. У середньому та центральному шарах експериментальних зразків сирів коефіцієнт виживання біфідобактерій через 15, 22,5, 30 хв. соління складає 0,85...0,95 та 0,86...0,99, 0,79...0,92 та 0,82...0,98, 0,72...0,88 та 0,76...0,96, відповідно. Проведені експериментальні дослідження свідчать про доцільність соління капсул пробіотичних сирів до

15 хв. для збереження в них високих пробіотичних властивостей. При такій тривалості соління концентрація солі у капсулах пробіотичних сирів складає 1,7...1,8%, що, крім збереження пробіотичних властивостей, забезпечує високі органолептичні показники капсул пробіотичних сирів.

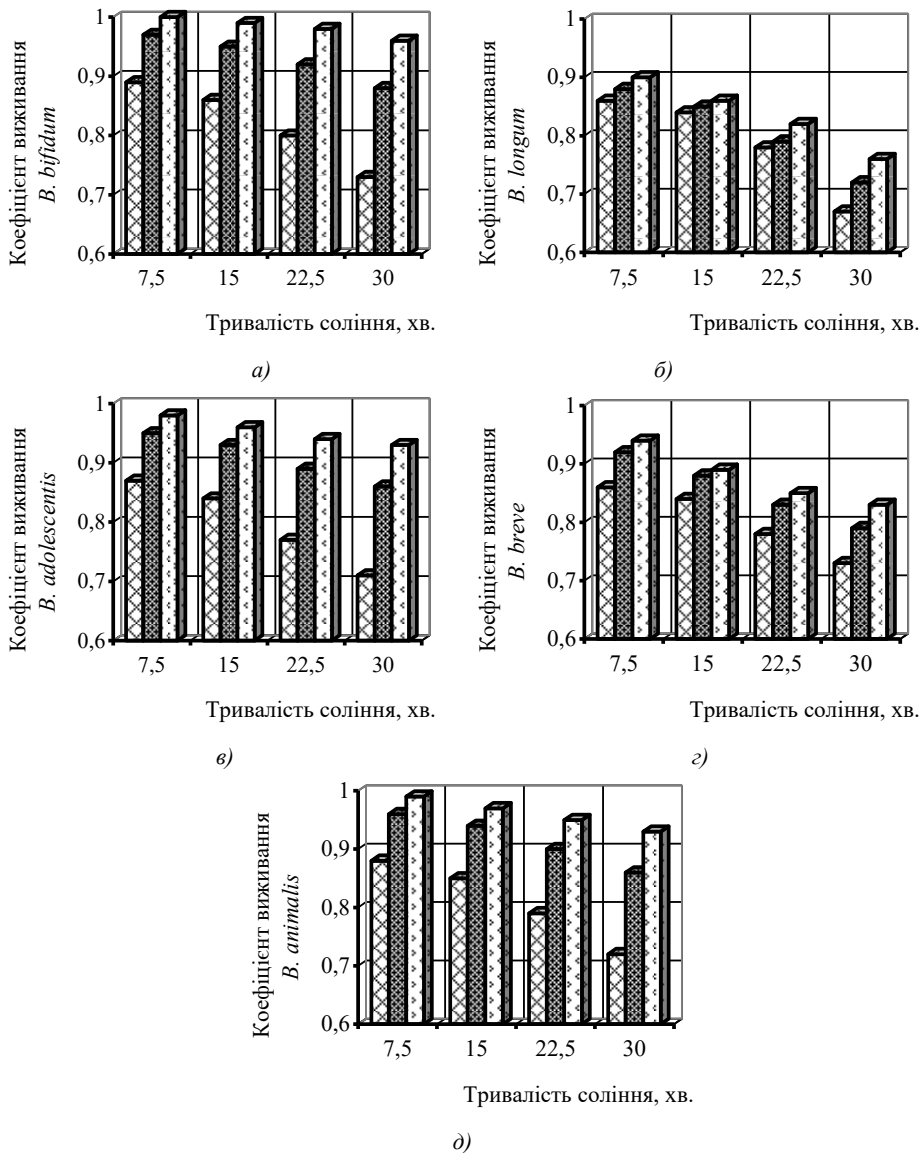


Рис. 2. Залежність коефіцієнту виживання *B. bifidum* (а), *B. longum* (б), *B. adolescentis* (в), *B. breve* (г), *B. animalis* (д) від тривалості соління у: – верхньому шарі капсули пробіотичного сиру; – середньому шарі капсули пробіотичного сиру; – центральному шарі капсули пробіотичного сиру

Кількість життєздатних клітин мезофільних молочнокислих лактококів і термофільних молочнокислих стрептококів у капсулах пробіотичних сирів після соління протягом 15 хв. складає: у верхньому шарі – $(2,5 \dots 4,0) \cdot 10^9$ і $(6,0 \dots 7,0) \cdot 10^8$ КУО/г, у середньому та центральному шарах – $(6,0 \dots 7,0) \cdot 10^9$ і $(8,0 \dots 9,0) \cdot 10^8$ КУО/г, $(7,0 \dots 8,0) \cdot 10^9$ і $(0,4 \dots 1,1) \cdot 10^9$ КУО/г, відповідно. Вища концентрація мезофільних молочнокислих лактококів у капсулах пробіотичних сирів після соління

обумовлена їх вищою концентрацією у ферментованих згустках, що пояснюється вираженою симбіотичною взаємодією мезофільних молочнокислих лактококів з біфідокультурами. Тому для виробництва капсульованих пробіотичних сирів доцільно використовувати мезофільні молочнокислі лактококи.

Кількість життєздатних клітин *Bifidobacterium bifidum* BB 03, *Bifidobacterium longum* subsp. *longum* BL 03, *Bifidobacterium adolescentis* BA 03, *Bifidobacterium breve* BR 03, *B. longum* subsp. *animalis* Bb-12 після соління протягом 15 хв. складає: у верхньому шарі – $(5,2...6,0) \cdot 10^8$, $(4,7...5,1) \cdot 10^8$, $(2,2...4,3) \cdot 10^8$, $(2,5...5,1) \cdot 10^8$, $(3,6...3,8) \cdot 10^8$ КУО/г, у середньому та центральному шарах – $(5,4...5,8) \cdot 10^9$, $(5,0...4,5) \cdot 10^9$, $(0,9...2,2) \cdot 10^9$, $(1,1...3,8) \cdot 10^9$, $(2,4...2,5) \cdot 10^9$ КУО/г та $(7,2...7,8) \cdot 10^9$, $(7,0...7,4) \cdot 10^9$, $(2,1...4,2) \cdot 10^9$, $(3,7...5,9) \cdot 10^9$, $(5,4...5,6) \cdot 10^9$ КУО/г відповідно. Це свідчить про збереження високих пробіотичних властивостей капсул пробіотичних сирів після соління.

Капсулювання таких сирів забезпечить потрапляння життєздатних клітин пробіотичних культур біфідобактерій у зазначеній кількості у кишківник людини при їх вживанні, що буде здійснювати пробіотичний вплив на споживача.

Висновки.

1. Результати наукових досліджень показують, що для досягнення оптимальної солестійкості лакто- та біфідобактерій при виробництві капсульованих пробіотичних сирів необхідно вибирати правильні штами лакто- та біфідобактерій та матеріали для капсулювання.

2. Для виробництва капсульованих пробіотичних сирів доцільно як лактокультури використовувати мезофільні молочнокислі лактококи та будь-яку із досліджених культур біфідобактерій – *Bifidobacterium bifidum* BB 03, *Bifidobacterium longum* subsp. *longum* BL 03, *Bifidobacterium adolescentis* BA 03, *Bifidobacterium breve* BR 03 або *B. longum* subsp. *animalis* Bb-12. Комбінування мезофільних молочнокислих лактококів з дослідженими культурами біфідобактерій у капсулах пробіотичних сирів забезпечує високу концентрацію усіх культур після соління, що буде здійснювати пробіотичний вплив на споживача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Micro-organisms as health supporters. Novara (Italy): MOFIN ALCE, 2000. Vol. 1. 34 p.
2. Micro-organisms as health supporters. Novara (Italy): MOFIN ALCE, 2000. Vol. 2. 68 p.
3. Biavati B., Bottazzi V., Morelli L. Probiotics and *Bifidobacteria*. Novara (Italy): MOFIN ALCE, 2001. 79 p.
4. Чагаровський О., Дідух Е., Кондрацький С. Перспективи виробництва м'яких білих сирів в Україні. *Scientific Works*. Вип. 87(2). 2024. С. 92–102. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v87i2.2869>
5. Поліщук Г.Є., Бовкун А.О., Колесникова С.С. Технологія сиру. Навчальний посібник. К.: НУХТ, 2008. 187 с.
6. Ланженко Л. А. Розробка технології твердого сиру функціонального призначення: автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.04 «Технологія м'ясних, молочних продуктів і продуктів з гідробіонтів» / Ланженко Любова Олександрівна; наук. кер. Н. А. Ткаченко; Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса: ОНАХТ, 2016. 20 с.
7. Скрипніченко Д.М. Розробка технології м'якого сиру з пробіотичними властивостями: автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.04 «Технологія м'ясних, молочних продуктів і продуктів з гідробіонтів» / Скрипніченко Дмитро Михайлович ; наук. кер. Н.А. Ткаченко ; Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса: ОНАХТ, 2016. 20 с.

8. Tkachenko N., Nazarenko Ju., Dets N., Izbash E., Klymentieva I. Starter cultures composition with probiotics for fermented milk products and cosmetics. *Food Science and Technology*. 2018. № 1. P. 18–28. <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v12i1.836>

9. Дідух Н.А. Наукові основи розробки технологій молочних продуктів функціонального призначення : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.18.16 «Технологія продуктів харчування» / Дідух Наталія Андріївна; наук. консультант О.П. Чагаровський; Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса: ОНАХТ, 2008. 37 с.

REFERENCES:

1. Micro-organisms as health supporters (2000). *Novara (Italy): MOFIN ALCE*. 1. 34.
2. Micro-organisms as health supporters (2000). *Novara (Italy): MOFIN ALCE*. 2. 68.
3. Biavati, B., Bottazzi, V., Morelli, L. (2001). Probiotics and *Bifidobacteria*. *Novara (Italy): MOFIN ALCE*. 79.
4. Chagarovs'kyj, O., Didux, E., Kondracz'kyj, S. (2024). Perspektyvy vyrobny'cztva m'yaky'x bily'x sy'riv v Ukrayini. *Scientific Works*. 87(2). 92–102. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v87i2.2869> [in Ukrainian].
5. Polishhuk, G.Ye., Bovkun, A.O., Kolesny'kova, S.S. (2008). *Texnologiya sy'ru Navchal'ny'j posibny'k. K.: NUXT*. 187. [in Ukrainian].
6. Lanzhenko, L.A. (2016). Rozrobka texnologiyi tverdogo sy'ru funkcional'nogo pry'znachennya: avtoref. dy's. ... kand. texn. nauk : specz. 05.18.04 «Texnologiya m'yasny'x, molochny'x produktiv i produktiv z gidrobiontiv». Lanzhenko Lyubov Oleksandrivna; nauk. ker. N. A. Tkachenko; *Odes. nacz. akad. xarch. texnologij. Odesa: ONAXT*. 20. [in Ukrainian].
7. Skry'pnichenko, D.M. (2016). Rozrobka texnologiyi m'yakogo sy'ru z probioty'chny'my' vlasty'vostyamy': avtoref. dy's. ... kand. texn. nauk : specz. 05.18.04 «Texnologiya m'yasny'x, molochny'x produktiv i produktiv z gidrobiontiv». Skry'pnichenko Dmy'tro My'xajlovy'ch; nauk. ker. N.A. Tkachenko; *Odes. nacz. akad. xarch. texnologij. Odesa: ONAXT*. 20. [in Ukrainian].
8. Tkachenko, N., Nazarenko, Ju., Dets, N., Izbash, E., Klymentieva, I. (2018). Starter cultures composition with probiotics for fermented milk products and cosmetics. *Food Science and Technology*. 1. 18–28. <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v12i1.836>
8. Didukh, N.A. (2008). *Naukovi osnovy' rozrobky' texnologij molochny'x produktiv funkcional'nogo pry'znachennya: avtoref. dy's. ... d-ra texn. nauk: specz. 05.18.16 «Texnologiya produktiv xarchuvannya»*. Didux Nataliya Andriyivna; nauk. konsul'tant O.P. Chagarovs'kyj; *Odes. nacz. akad. xarch. texnologij. Odesa: ONAXT*. 37 [in Ukrainian].