

УДК: 579:637.1

БЕРГІЛЕВИЧ О.М., д-р вет. наук, доц., e-mail:

o.bergylevych@med.sumdu.edu.ua,

КАСЯНЧУК В.В., д-р вет. наук, проф., e-mail: vkasianchuk@med.sumdu.edu.ua

Сумський державний університет

ТЕРЬОХІНА О. В.*, e-mail: el.vet@i.ua

Сумський національний аграрний університет

БЕРГІЛЕВИЧ О.О., e-mail: bergilevich@ukr.net

Сумський філіал ДНДЛДВСЕ

ЧЕРНЕЦЬКИЙ І., e-mail: igorgq97@yandex.ru

Сумський державний університет

ПРОГНОЗУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ПСИХРОТРОФНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ В МОЛОЦІ КОРОВ'ЯЧОМУ ЗБІРНОМУ ОХОЛОДЖЕНОМУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

На основі експериментальних даних, отриманих на моделях дослідів, розроблено метод прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в сирому молоці корів протягом зберігання його охолодженим. Метод характеризується створенням нової штучної нейронної мережі у стандартній програмі NeuroPro, яка містить три вхідні параметри (КМАФАНМ, температура та термін зберігання молока) та один вихідний (прогнозована кількість психротрофних мікроорганізмів). Встановлено, що розроблений метод має високий ступінь достовірності (від 98,8% до 99,8%), а середня помилка (стандартне відхилення) становить від 0,2% до 2,0%.

Ключові слова: прогнозування, штучні нейронні мережі, психротрофні мікроорганізми, молоко.

Вступ. Основними показниками безпечності та якості молока сирого є вміст у ньому мікроорганізмів, що регламентується державними мікробіологічними критеріями. Одним із критеріїв мікробіологічної безпечності та якості молока є вміст у ньому психротрофних мікроорганізмів. Контроль за відповідністю сирого молока мікробіологічним критеріям здійснюється як виробниками так і офіційними контролюючими органами [1, 11]. Встановлення мікробіологічних показників продовольчої продукції здійснюється різними методами: класичними мікробіологічними, спеціальними приладами, непрямими біохімічними реакціями та новітніми. Для виконання класичних мікробіологічних методів досліджень необхідно у середньому від 24 до 72 год, а для визначення психротрофних мікроорганізмів - до 10 діб, що є мало придатним для швидкого вирішення практичних питань з проблем безпечності молока.

У зв'язку із цим, вчені розробляють методи контролю за мікробіологічними показниками, які є більш швидкими [12, 13].

* Аспірант, науковий керівник – д-р вет. наук **О.М. Бергілевич О.М.**

До таких методів контролю відносяться методи прогнозування росту та розмноження мікроорганізмів у продовольчій сировині та харчових продуктах. У більшості випадків ці методи базуються на прогностичних моделях.

Оскільки кожен вид мікроорганізмів має індивідуальні властивості щодо оптимальної температури росту та розмноження, а також специфічну стійкість до умов зовнішнього середовища (рН, активність води, вміст поживних речовин тощо), методи прогнозування розробляються експериментально з урахуванням цих особливостей. Швидкі методи прогнозування можуть бути застосовані за умови використання комп'ютерних моделей або програм, що відображають вірогідні взаємозв'язки між певними показниками складу та властивостями продукту, умовами його зберігання (переробки) та кількістю мікроорганізмів [5, 7, 12]. Вченими у різних країнах було розроблено багато методів прогнозування для контролю росту та розмноження мікроорганізмів у харчових продуктах і цей напрямок досліджень було названо «прогнозуюча мікробіологія» або «предиктивна мікробіологія». Прогнозуюча мікробіологія широко застосовується у наукових дослідженнях, а також у практиці для контролю за мікробіологічною безпечністю харчових продуктів, оскільки не потребує особливих приладів та середовищ. Використовуючи спеціальну комп'ютерну програму, до якої вносять цифрові дані про продукт. Виробники застосовують методи прогнозуючої мікробіології, щоб передбачати, коли та за яких умов кількість небажаних мікроорганізмів у продукції може досягти критичного рівня, або спрогнозувати ріст та розмноження корисної мікрофлори у продукції.

В Україні цей напрям у харчовій мікробіології тільки починає розвиватись, тому розробка методів прогнозування росту та розмноження мікроорганізмів у харчових продуктах є актуальною. Особливо це стосується, такої швидкопсувної продукції, як молоко коров'яче, що є найсприятливішим середовищем для мікроорганізмів [2–5, 12, 13].

Згідно з чинними вимогами у молоці сирому одним із основних мікробіологічних показників є загальна кількість мікроорганізмів (КМАФАнМ – кількість мезофільних аеробних, факультативно-анаеробних мікроорганізмів) [10]. При холодильному зберіганні молока у ньому розмножуються крім мезофільних мікроорганізмів і психротрофні (що розмножуються за температур холодильника). Психротрофні мікроорганізми відіграють основну негативну роль у псуванні сирого молока за його зберігання, при чому, як наслідок, відбувається погіршення якості молокопродуктів. Відомо, що психротрофні мікроорганізми є небажаною мікрофлорою в технології молокопродуктів, оскільки продукують терморезистентні ферменти (ліпази та протеази), які викликають вади молока та готової молочної продукції – гіркий смак, водянисту консистенцію та неприємний затхлий запах. Крім того, серед цих мікроорганізмів є багато умовно-патогенних та патогенних, що може становити мікробіологічний ризик, і тому психротрофні мікроорганізми потребують своєчасного виявлення та контролю [11]. Визначення психротрофних мікроорганізмів класичним

загальноприйнятим мікробіологічним методом посіву досить тривале, що для виробника сирого молока неприйнятно, оскільки молоко є швидкопсувним продуктом. Але у той же час, виробнику важливо знати, яка кількість психротрофних мікроорганізмів може бути за різних умов зберігання та фізико-хімічних показників молока. Знання швидкості розмноження психротрофних мікроорганізмів у молоці дає змогу ефективно керувати процесом його зберігання. Тому актуальним є пошук альтернативних швидших методів визначення кількості цих мікроорганізмів у сирому молоці, до яких відносяться методи прогнозування.

Мета роботи. Розробити метод прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в молоці коров'ячому збірному охолодженому з використанням штучних нейронних мереж.

Матеріали і методи дослідження. Матеріалом для досліджень були проби сирого збірного охолодженого молока корів з молочних ферм Київської, Сумської та Запорізької областей. Проби збірного молока відбирали із охолоджуючих танків пробовідбірною трубкою із дотриманням правил асептики. Проби протягом 2-х годин доставляли у лабораторію на дослідження у спеціальних сумках із холодоагентами. Було досліджено 550 проб молока, які готували до дослідження згідно з ДСТУ IDF 122С:2003 та ДСТУ ISO 6887-1:2003. Підготовлені проби піддавали мікробіологічному дослідженню на встановлення кількості МАФАНМ та кількості психротрофних мікроорганізмів.

Кількість МАФАНМ в пробах сирого збірного охолодженого молока встановлювали згідно з ДСТУ 7357:2013, шляхом посіву 1 см^3 попередньо-приготовленого дослідного матеріалу під МПА з наступною інкубацією посівів за температури $36\pm 2^\circ\text{C}$ протягом 24–48 годин [8].

Для визначення кількості психротрофних мікроорганізмів посіви та підрахунок колоній проводили аналогічно, але інкубували в термостаті за температури $6,5^\circ\text{C}$ протягом 7–10 діб [9].

Метод прогнозування був розроблений за використання експериментальних моделей та створення спеціальної штучної нейронної мережі з наступним використанням її у стандартній комп'ютерній програмі NeuroPro. Програма NeuroPro розроблена в Інституті обчислювального моделювання СО РАН і розрахована на функціонування в операційній системі MS Windows 97 або MS Windows NT 4.0 та працює з файлами бази даних в форматі dbf (dBase, FoxBase, FoxPro, Clipper) [3, 4]. Дана програма є менеджером штучних нейронних мереж, у тому числі прогностичних. Для використання штучної нейронної мережі з конкретною прогностичною метою її необхідно попередньо навчити відповідно до поставленої мети за використання конкретних експериментальних даних.

Для прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в збірному молоці корів ми використовували молоко 2-х гатунків: екстра та вищий. Згідно чинного в Україні ДСТУ 3662–97 до молока екстра гатунку відноситься сире молоко з вмістом у ньому КМАФАНМ до 100 тис КУО/см³, а до молока вищого гатунку – до 500 тис КУО/см³ [10].

Моделювали зберігання молока в експериментальних моделях з варіантами терміну в межах 12–48 годин в охолодженому стані. Температурні показники у моделях мали варіації від 4°C до 6°C (практичні режими зберігання сирого молока). Моделі для експериментів були наближені до практичних умов виробництва сирого молока (табл. 1–2). За результатами експериментів в моделях дослідів, у яких були різні варіації загальної кількості мікроорганізмів у сирому збірному молоці та різні умови зберігання молока (температура та термін зберігання), ми отримали базу власних експериментальних даних, які внесли до штучної нейронної мережі, таким чином створили нову штучну нейронну мережу. Ефективність даного методу визначали шляхом порівняння результатів експериментальних досліджень та даних, що отримували в результаті нейропрогнозу програми «NeuroPro».

Таблиця 1

Експериментальна база даних щодо взаємозалежності між КМАФАнМ, температурою та терміном зберігання молока гатунку екстра та кількістю психротрофних мікроорганізмів

№ п/п моделей дослідів	Термін зберігання молока, год	Кількість мікроорганізмів, КУО/см ³ (середні дані)	
		МАФАнМ, КУО x 10 ³ /см ³ /	Психротрофні м.о., КУО x 10 ³ /см ³ / (відношення до МАФАнМ, %)
Температура зберігання молока 4°C			
1	12	20,3±2,1	2,2± 0,3 (10%)
		50,1±3,1	6,15±0,9 (12,3%)
		100,4±11,8	13,5±1,4 (13,5%)
2	24	40,3±4,4	4,4 ± 0,5 (11%)
		50,2±5,1	6,6 ±0,8 (13,2%)
		100,3±9,9	14,1±1,7 (14,0%)
3	36	40,4±3,4	4,9± 0,6 (12,2%)
		50,2±5,7	7,1±1,3 (14,0%)
		100,3±12,3	14,9±2,1 (14,9%)
4	48	50,4±6,1	7, 25±0,7 (14,5%)
		100,3±9,4	15,3±1,2 (15,3%)
Температура зберігання молока 6°C			
6	12	30,1±1,7	3,24±0,1 (10,8%)
		50,1±5,1	6,65±0,7 (13,3%)
		100,1±14,2	13,9±1,8 (13,9%)
7	24	40,2±3,6	4,8±0,1 (12%)
		50,2±4,9	6,9± 1,1 (13,7%)
		100,2±11,9	14,6±1,2 (14,6%)
8	36	40,3±3,7	5,6± 0,8 (12,9%)
		50,4±4,1	7,25± 1,1 (14,5%)
		100,1±13,1	15,3± 1,6 (15,3%)
9	48	50,2±5,2	7,4±0,5 (14,8%)
		100,2±11,3	15,7 ± 1,9 (15,7%)

Примітка: В кожній з моделей дослідів використовували декілька варіантів (2-3) початкової кількості мікроорганізмів.

Результати досліджень та їх обговорення.

1. Формування експериментальної бази даних та розробка нової штучної нейронної мережі. На початку розробки методу прогнозування ми за використання моделей дослідів формували базу даних. Для формування бази даних за результатами власних експериментальних досліджень на сформованих моделях визначили взаємозалежності між загальною кількістю мікроорганізмів у молоці – КМАФАнМ та психротрофними мікроорганізмами в сирому збірному молоці (окремо для гатунку екстра та вищий) і температурою, терміном його зберігання. Моделями були проби молока з різними значеннями показника КМАФАнМ від 100 ± 20 тис КУО/см³ до 500 ± 50 тис КУО/см³, які зберігали за наступних температур: 4°C і 6°C протягом 12, 24, 36 та 48 годин.

Таблиця 2

Експериментальна база даних щодо взаємозалежності між КМАФАнМ, температурою та терміном зберігання молока гатунку вищий та кількістю психротрофних мікроорганізмів, $M \pm n$, $n=7$

№ п/п	Термін зберігання молока, год	Кількість мікроорганізмів, (КМАФАнМ)	
		МАФАнМ, КУО × 10 ⁵ /см ³ /	Психротрофні м.о. (відношення до МАФАнМ, КУО×10 ⁵ /см ³ /%)
Температура зберігання молока 4°C			
1	12	1,5±0,12	0,18± 0,01 (12,1%)
		2,0±0,14	0,27± 0,03 (13,3%)
		3,0±0,09	0,44 ± 0,03 (14,5%)
2	24	1,5±0,08	0,19 ± 0,02 (12,5%)
		2,0±0,11	0,27 ± 0,05 (13,6%)
		3,0±0,16	0,44± 0,01 (14,8%)
3	36	1,5±0,08	0,19±0,04 (12,9%)
		2,0±0,13	0,28± 0,02 (14,0%)
		3,0±0,11	0,45± 0,01 (15,0%)
4	48	2,0±0,14	0,29±0,03 (14,5%)
		3,0±0,07	0,46 ±0,05 (15,3%)
Температура зберігання молока 6°C			
5	12	1,5±0,12	0,19 ±0,04 (12,8%)
		2,0±0,15	0,29±0,01 (14,3%)
		3,0±0,11	0,46±0,04 (15,2%)
6	24	1,5±0,07	0,20±0,03 (13,5%)
		2,0±0,18	0,30 ±0,02 (15,0%)
		3,0±0,14	0,47± 0,04 (15,7%)
7	36	1,5±0,16	0,21±0,01 (14,2%)
		2,0±0,12	0,31 ± 0,05 (15,6%)
		3,0±0,11	0,48±0,06 (16,1%)
8	48	2,0±0,11	0,32± 0,03 (16,2%)
		3,0±0,06	0,50 ±0,01 (16,8%)

Примітка: В кожній з моделей дослідів використовували декілька варіантів (2–3) початкової кількості мікроорганізмів.

При цьому визначали:

- а) результати впливу температури зберігання молока 4°C протягом 48 год на зміну кількості психротрофних мікроорганізмів в ньому;
- б) результати вивчення впливу температури зберігання молока 6°C протягом 48 год на зміну кількості психротрофних мікроорганізмів у ньому. Результати досліджень наведено у таблицях 1–2.

Дані таблиці 1 свідчать про те, що у сирому збірному молоці вміст психротрофної мікрофлори у середньому складає від 10% до 15%. Причому зі збільшенням рівня забруднення молока мезофільною мікрофлорою (МАФАНМ), кількість психротрофних мікроорганізмів збільшується.

Дані таблиці 2 свідчать про те, що у сирому збірному молоці вміст психротрофної мікрофлори у середньому складає від 12% до 17%. Аналогічно попереднім дослідям, зі збільшенням рівня забруднення молока мезофільною мікрофлорою (МАФАНМ), кількість психротрофних мікроорганізмів збільшується. Слід зазначити, що при зберіганні молока кількість психротрофної мікрофлори збільшується за температури 6°C інтенсивніше, ніж за 4°C. Зі збільшенням терміну зберігання охолодженого молока кількість психротрофної мікрофлори збільшується.

Використовуючи вищезазначені дані та закономірності (табл. 1–2), ми ввели їх до штучної нейронної мережі для прогнозування у програмі NeuroPro. Новостворена штучна нейронна мережа містила наступні експериментальні дані, що були отримані у моделях дослідів на сирому збірному молоці:

- кількість психротрофних мікроорганізмів у сирому молоці за дії різних охолоджуючих температур і термінів його холодильного зберігання;
- кількість психротрофних мікроорганізмів у сирому молоці за різного значення показника КМАФАНМ.

2. Розроблення методу прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в молоці коров'ячому збірному охолодженому. Метод прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в молоці коров'ячому збірному охолодженому з використанням штучних нейронних мереж було проведено в п'ять наступних етапів:

I. Формування бази даних результатів власних експериментальних досліджень, отриманих на модельних пробах молока (формат dbf), які включали наступні показники:

- кількість МАФАНМ,
- кількість психротрофних мікроорганізмів,
- температура зберігання молока (4°C та 6°C);
- період (термін) зберігання молока охолодженим (12, 24, 36 та 48 годин).

II. Створення нейропроекту – введення отриманої бази експериментальних даних до штучної мережі програми NeuroPro.

III. Навчання новоствореної штучної нейронної мережі прогнозуванню цільового показника за наявними даними та проведення її тестування шляхом введення різних нових значень КМАФАНМ та режимів зберігання сирого

молока в охолодженому стані з наступною перевіркою отриманих даних класичним методом посіву на поживне середовище.

IV. Визначення та збереження показників значимості вхідних сигналів та спрощення штучної нейронної мережі (зменшення кількості найменш значимих сигналів).

V. Отримання статистичної інформації та оцінювання прогнозуючої здатності новоствореної штучної мережі щодо достовірності прогнозування психротрофних мікроорганізмів в сирому охолодженому молоці протягом зберігання.

3. Визначення достовірності та ефективності методу прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в молоці за використання новоствореної штучної нейронної мережі. Встановлення ефективності методу прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в молоці коров'ячому збірному охолодженому з використанням штучних нейронних мереж протягом його зберігання проводили шляхом порівняння експериментальних даних та даних, отриманих з використанням комп'ютерного нейропрогнозу, який в автоматичному режимі здійснює аналіз статистичної інформації та прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в сирому охолодженому молоці протягом зберігання. Результати досліджень наведені в таблиці 3.

Дані таблиці 3 свідчать про незначні відхилення між результатами, що отримані шляхом експериментів (класичний метод посіву) та нейропрогнозом, які складають у середньому від 0,2% до 2,0%. При цьому відхилення між фактичними даними та нейропрогнозом були незначними і коливалися від 400 КУО/см³ до 20 КУО/см³, а ступінь достовірності становив від 98,0% до 99,8%.

Враховуючи актуальність швидкого визначення вмісту психротрофних мікроорганізмів у сирому молоці, дані отримані шляхом нейропрогнозу дадуть змогу швидко оцінити мікробіологічну якість молока та прийняти рішення щодо термінів та умов його подальшого зберігання та шляхів його технологічної переробки.

Ми також перевірили функціонування методу прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в молоці збірному охолодженому в залежності від проміжних значень температури зберігання та терміну зберігання. Результати досліджень наведені в таблиці 4.

Таблиця 3

Встановлення ефективності способу прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в молоці збірному при зберіганні його охолодженим за температури 4°C протягом 48 год. з використанням штучних нейронних мереж, $M \pm n$, $n=7$

Температура зберігання молока, °C	Термін зберігання, год.	Кількість психротрофних мікроорганізмів, КУО x 10 ³ /см ³		Ступінь достовірності	
		Фактично	Нейропрогноз	Відхилення	%
4	12	2,01±0,3	1,96±0,1	-40	2,0
	24	14,04±0,2	14,05±0,2	+50	0,36
	36	4,92±0,1	4,9±0,1	+20	0,4
	48	15,31±0,2	15,23±0,1	-70	0,5
6	12	3,24±0,1	3,21±0,3	-30	0,9
	24	6,85±0,3	6,9±0,1	+50	0,7
	36	15,32±0,1	15,17±0,1	-130	0,8
	48	15,71±0,1	15,82±0,3	+120	0,8
Молоко гатунку вищий					
4	12	26,6±0,2	26,7±0,3	+120	0,5
	24	27,2±0,2	26,95±0,3	-250	0,9
	36	45,03±0,1	44,81±0,2	-200	0,4
	48	45,93±0,3	46,00±0,4	+100	0,2
6	12	28,62±0,3	28, 28±0,3	-320	1,1
	24	47,14±0,1	46,90±0,2	-200	0,4
	36	48,31±0,1	48,41±0,1	+100	0,2
	48	32,41±0,2	32,00±0,3	-400	1,2

Примітка: В кожній з моделей дослідів використовували декілька варіантів (2-3) початкової кількості мікроорганізмів

Таблиця 4

Результати використання методу прогнозування для визначення кількості психротрофних мікроорганізмів в молоці при різних (проміжних) параметрах зберігання, $M \pm n$, $n=7$

Температура зберігання молока, °C	Термін зберігання, год.	Вихідна кількість мікроорганізмів (КМАФАнМ), КУО x 10 ³ /см ³	Результати нейропрогнозу (психротрофні м.о.), КУО x 10 ³ /см ³
4	10	58, 0±11,2	8, 923±1,7
6	21	90, 1±16,1	12, 920±2,3
7	20	75, 3±9,7	11, 538±2,2
4	8	40, 8±6,1	6, 048±1,4
6	8	40, 8±7,6	7,095±1,8
8	15	5,8±0,9	6,011±0,9
6	15	120, 6±19,7	21, 976±1,8
6	17	250, 5±21,1	45, 521±3,1
7	20	230, 0±26,3	41, 385±2,7

Отже, як видно з наведених таблиць 3–4, застосування запропонованого методу прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в молоці у процесі зберігання, з використанням штучних нейронних мереж, який заснований на залежності темпів розвитку психротрофної мікрофлори від температури та терміну зберігання молока в охолодженому стані, має високий ступінь достовірності та дає змогу швидко отримати дані (протягом 5–8 хв), що є запорукою швидкого проведення запобіжних заходів щодо псування сирого молока для отримання якісних молокопродуктів.

Висновки та перспективи подальших розробок:

1. На основі експериментальних даних, отриманих на моделях дослідів, розроблено метод прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в сирому збірному молоці корів протягом його зберігання, що характеризується використанням новоствореної штучної нейронної мережі у програмі NeuroPro, яка містить три вхідних параметри (КМАФАнМ, температура та термін зберігання сирого молока) та один вихідний – прогнозована кількість психротрофних мікроорганізмів.

2. Розроблений метод прогнозування має високу ступінь достовірності (від 98,0% до 99,8%), а середня його помилка (стандартне відхилення) становить від 0,2% до 2,0%.

3. Переваги даного методу полягають в його швидкості та інформативності, а також значному зменшенні досліджень, необхідних для прогнозування кількості мікроорганізмів. Цей спосіб дозволить замінити реальні досліди на математичні моделі, що адекватно відображають найбільш важливі закономірності досліджуваних об'єктів.

Перспективним є проведення подальших досліджень для розвитку такого нового в Україні наукового напрямку харчової мікробіології, як прогнозуюча мікробіологія та використання її методології на переробних підприємствах для визначення динаміки росту та розмноження мікроорганізмів з метою ефективного керування цим процесом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бергілевич А.Н. Влияние современных технологий доения и психротрофных микроорганизмов на содержание свободных жирных кислот в молоке // А.Н. Бергілевич, А.Н.Марченко, О.А.Бергілевич / Sc. Journal «ScienceRise» – 2014. – Vol. 5/4(5). – P. 61–68.

2. Бергілевич О.М. Прогнозуюча мікробіологія є основою для безпеки продуктів харчування / О.М. Бергілевич // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького. – 2008. – Т. 10, № 2 (37). – Ч. 4. – С. 3–7.

3. Деклараційний патент України 60298 UA, МПК (2011.01)A23C 3/00 A23C 9/00 Спосіб прогнозування кількості бактерій *Enterobacter sakazakii* в сирому охолодженому молоці протягом зберігання / О.М. Бергілевич, В.В. Касянчук, О.М. Алексеев, Д.А. Засекін, О.О. Бергілевич. – Заявник і власник Сумський національний аграрний університет. – № u 2011 00047; заявл. 04.01.11; опубл. 10.06.2011, Бюлетень №11. – 5 с.

4. Деклараційний патент України 108873 UA, МПК (2016.01) G06N 3/02 Спосіб прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в молоці коров'ячому збірному охолодженому з використанням штучних нейронних мереж / О.М. Бергілевич, В.В. Касянчук, О.О. Бергілевич.- Заявник і власник Сумський національний аграрний університет. – № u 2015 07249; заявл. 20.07.2015; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15. – 6 с.

5. Розробка методу прогнозування захворюваності корів на субклінічний мастит / В.В. Касянчук, О.М. Бергілевич, А.М. Марченко, О.І. Скляр // Вісник Сумського НАУ. – 2013. – Вип. 9(33). – С. 152–156.
6. Контроль відповідності мікробіологічним критеріям у виробництві молокопродуктів / В.В. Касянчук, О.М. Бергілевич, Є. Гришина, О. Терьохіна // Молочна індустрія. – 2016. – №2. – С. 32–35.
7. Компьютерное моделирование биотехнологических процессов и систем: Учеб. пособие / Д.С. Дворецкий, С.И. Дворецкий, Е.И. Муратова, А.А. Ермаков. Тамбов: Изд-во ТГТУ. – 2005. – 80 с.
8. Молоко і молочні продукти. Визначення кількості мікроорганізмів. Метод підрахування колоній за температури 30°C (IDF 100B:1991, IDT): ДСТУ IDF 100B-2003. – [Чинний від 2005-01-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2005. – IV, 6 с.– (Національний стандарт України).
9. Молоко. Метод підрахування колоній психротрофних мікроорганізмів, що формують колонії за температури 6,5°C (IDF 101:2003, IDT): ДСТУ IDF 101-2005 – [Чинний від 2008-01-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2008. – IV, 8с. – (Національні стандарти України).
10. Молоко коров'яче незбиране. Вимоги при закупівлі: ДСТУ 3662-97. – [Чинний від 1998-01-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 1998. – IV, 9 с. – (Національний стандарт України).
11. Основні мікробіологічні ризики при оцінці санітарно-гігієнічного стану виробництва молока на фермах // О.М. Бергілевич В.В.Касянчук, Є.А. Гришина, О.В. Терьохіна // Вісник Сумського НАУ. – Вип. 6 (35). – С. 94–98.
12. New approach for modeling generalized microbial growth curves using artificial neural networks / M.N. Hajmeer [et al.] // J. Rapid Methods and Automation in Microbiol. – 2000. – V. 8, №4. – P. 265–284.
13. Jeyamkondana S. Microbial growth modelling with artificial neural networks / S. Jeyamkondana, D.S. Jayasa, R.A. Holleyb // Int. J. Food Microbiol. – 2001. – V. 64. – P. 343–354.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПСИХРОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ В СБОРНОМ ОХЛАЖДЕННОМ МОЛОКЕ КОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ / Бергілевич А.Н., Касянчук В.В., Терьохіна Е.В., Бергілевич О.А., Чернецкий І.

На основе экспериментальных данных, полученных на моделях опытов, разработан метод прогнозирования количества психротрофных микроорганизмов в сыром молоке коров при хранении его охлажденным. Метод характеризуется созданием новой искусственной нейронной сети в стандартной программе NeuroPro, которая содержит три входных параметра (КМАФАНМ, температура и срок хранения молока) и один выходной (прогнозируемое количество психротрофных микроорганизмов). Установлено, что разработанный метод обладает высокой степенью достоверности (от 98,0% до 99,8%), а средняя ошибка (стандартное отклонение) составляет от 0,2% до 2,0%.

Ключевые слова: прогнозирование, искусственные нейронные сети, психротрофные микроорганизмы, молоко.

PREDICTION OF NUMBER OF PSYHROTROPHIC MICROORGANISMS IN REFRIGERATED COW'S MILK WITH USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS / Berhilevych O.M, Kasyanchuk V.V., Terekhyna O.V., Berhilevych O.O. Cherneckii I.

Introduction. Considered that animal products have to be controlled on microbiological hazards, because these products are most often contaminated with dangerous microorganisms

during their production. To control microbiological hazards during food processing the HACCP system is used. For the quick functioning of the HACCP system the companies should develop and implement rapid methods for the control of microbial contamination of food. These methods can be implemented using computer models and programs that reflect the probable relationship between certain parameters of the product, conditions of storage (processing) and the number of microorganisms.

The goal of the work was to develop a method of prediction of psychrotrophic microorganisms number in cooled cow's milk using artificial neural networks.

Materials and methods. 550 samples of raw cow's milk were collected from dairy farms of Kyiv, Sumy and Zaporizhia oblasts (Ukraine). For research we used milk of extra and higher class. All samples were investigated for total number of microorganisms and number of psychrotrophic microorganisms using standard methods. Predicting method was developed using experimental models and a special artificial neural network with computer programs NeuroPro.

Results of research and discussion. Development of a method carried out in several stages. In the beginning was molded base their experimental data with model experiments. In experiment models it was determined relationship between the total number of microorganisms and psychrotrophic microorganisms in raw milk, temperature and terms of storage. The next stage involved the input of the data to the artificial neural network for predicting using NeuroPro program that contains three input parameters (total number of microorganisms, temperature and term of storage milk) and one output parameter (predictable count of psychrotrophic microorganisms).

Conclusions and prospects for further research. The method of predict the number of psychrotrophic microorganisms in raw cow's during storage at low temperatures, was developed. This method has a high degree of reliability (from 98.0% to 99.8%) and its average error (standard deviation) of 0.5% to 2.0%. Advantages of this method included: its speed, informatively and significantly reduction of the number of tests for microorganisms number detection. This method will replace real experiments on mathematical models that adequately reflect the most important regularities of the objects. Application of the proposed method will facilitate effective control in milk production and timely use of corrective measures.

Keywords: prediction, artificial neural networks, psychrotrophic microorganisms, milk.

REFERENCES

- Berhilevych, A.N., Marchenko, A.N., Berhilevych, O.A. (2014). Vliyanie sovremennih texnologiy doeniya i psyxrotrofnyh mikroorganizmov na sodержanie svobodnih zhirnykh kislot v moloke [Influence of modern milking technology and psychrotrophic microorganisms on the content of free fatty acids in milk]. *Nauchnij czurnal «ScienceRise» – Scientific Journal «ScienceRise»*, 5/4(5), 61-68 [in Russian].
- Berhilevych, O.M. (2008). Prognozuyucha mikrobiologiya yak osnovoa dlia bezpeky produktiv kharchuvannia [Predictive microbiology is the basis for food safety]. *Naukovyi visnik Lvivskogo natsionalnogo universytetu veterinarnoyi meditsiny ta biotexnologij im. S.Z. Gzhytskogo – Scientific Bulletin of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named S.Z. Hzhyskoho*, Vol.10, № 2 (37), 3-7 [in Ukrainian].
- Berhilevych, O.M., Kasyanchuk, V.V., Zasyekin, D.A., Alekseyev, O.M., & Berhilevych, O.O. e.a. Sposib prognozuvannya kilkosti bakterij *Enterobacter sakazakii* v syromu oxolodzhenomu moloci protyagom zberigannya [The method of predict the number *Enterobacter sakazakii* bacteria in raw milk during refrigerated storage]. Patent Ukrayiny, no. 60298.
- Berhilevych, O.M., Kasyanchuk, V.V., & Berhilevych, O.O. e.a. Sposib prognozuvannya kilkosti psyxrotrofnyh mikroorganizmiv v moloci koroviyachomy zbirnomu oholodzhenomy z vicoristniam shtuchnih nejronnix merehz [The method of predict the number psychrotrophic microorganisms in milk cow collectively cooled using artificial neural networks] Patent Ukrayiny no 108873.
- Kasyanchuk, V.V., Berhilevych, O.M., Marchenko, A.M., & Sklyar, O.I. (2013) Rozrobka metodu prognozuvannya zakhvoryuvanosti koriv na subklinichni mastit [Development

of a method of predicting the incidence of subclinical mastitis in cows]. *Visnyk Sumskogo NAU – Bulletin of the Sumy NAU*, № 9 (33), 152-156 [in Ukrainian].

6. Kasyanchuk, V.V., Berhilevych, O.M., Gryshyna, E. A. & Teroxina, O. (2016). Kontrol vidpovidnosti mikrobiologichnim kriteriyam u virobnitstvi molokoproduktiv [Monitoring compliance with microbiological criteria in the production of milk]. *Zhurnal «Molochna industriya» – Journal «Dairy industry»*, 2, 32-35 [in Ukrainian].

7. Dvoreczkyj, D.S., Dvoreczkyi, S.Y., Muratova, E.Y., Ermakov, A.A., & Dvoreczkyi, D.S. (2005). *Kompyuternoe modelyrovanye bioteknologicheskyykh processov y system: [Computer modeling of biotechnological processes and systems]*. Textbook. Tambov: Yzd-vo TGTU [in Russian].

8. Moloko i molochni produkty`. Vznachennia kilkosti mikroorganizmiv. Metod pidraxuvannya kolonij za temperatury 30°C [Milk and dairy products. Determination of the number of microorganisms. The method of calculating the colonies at a temperature of 30°C]. (2005). National Standard of Ukraine (IDF 100B:1991, IDT): DSTU IDF 100B-2003 from 1st January 2005. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].

9. Moloko. Metod pidraxovuvannya kolonij psikhrotrofnykh mikroorganizmiv, shcho formuyut koloniyi za temperatury 6,5°C [Milk. The method of calculating psychrotrophs colonies of microorganisms that form colonies at a temperature of 6.5°C]. (2008). National Standard of Ukraine (IDF 101:2005, IDT) DSTU IDF 101:2006 from 1st January 2008. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].

10. Moloko koroviache nezbirane. Vimogi pri zakupivli [Cows milk. Requirements for purchase]. (1998). National Standard of Ukraine DSTU 3662-97: 2007 from 1st January 1998. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].

11. Berhilevych, O.M., Kasyanchuk, V.V., Gryshyna, E.A., & Teroxina, O.V. (2014). Osnovni mikrobiologichni riziki pri otsintsi sanitarno-hihienichnogo virobnitstva moloka na fermakh [The main microbiological risks in assessing the hygienic status of milk production on farms]. *Visnyk Sumskogo NAU – Bulletin of Sumy NAU*, 6 (35), 94-98 [in Ukrainian].

12. Hajmeer, M.N. Basheer I.A., & Marsden J.L. (2000) New approach for modeling generalized microbial growth curves using artificial neural networks. *J. Rapid Methods and Automation in Microbiol.*, 8, No 4, 265-284.

13. Jeyamkondana S., Jayasa D.S., & Holleyb R.A. (2001). Microbial growth modelling with artificial neural networks. *Int. J. Food Microbiol.*, 64, 343-354.