



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **130359** (13) **U**
(51) МПК
G06N 3/02 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (21) Номер заявки: u 2018 05231 | (72) Винахідник(и): Бергілевич Олександра Миколаївна (UA), Касянчук Вікторія Вікторівна (UA), Конєва Анастасія Олександрівна (UA), Чернецький Ігор Володимирович (UA) |
| (22) Дата подання заявки: 11.05.2018 | |
| (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.12.2018 | (73) Власник(и): СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007 (UA) |
| (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.12.2018, Бюл.№ 23 | |

(54) СПОСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ КІЛЬКОСТІ БАКТЕРІЙ РОДИНИ ENTEROBAKTERIACEAE

(57) Реферат:

Спосіб прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae, наприклад в молоці коров'ячому збірному охолодженому, шляхом використання штучної нейронної мережі. Використовують штучну нейронну мережу (ШНМ) у вигляді багатошарового персептрона з оптимально підібраним значенням нейронів прихованого шару в кількості 30 нейронів, вводять до ШНМ 5 вхідних показників таких як температура зберігання сирого молока, тривалість його зберігання, уміст жиру, білка та кислотність молока. При цьому середня помилка (відхилення) становить 1,255 %, а максимальна - 8,86 %.

UA 130359 U

Корисна модель належить до мікробіології (медичної, ветеринарної та харчової) і може бути використана для встановлення кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в досліджуваних об'єктах і зокрема продовольчій сировині. Призначено для використання в лабораторній практиці підприємств харчової промисловості, в офіційних та науково-дослідних лабораторіях, діяльність яких спрямована на контроль безпечності продовольчої продукції. Згідно з чинними вимогами харчового законодавства, обов'язковим є встановлення кількості мікроорганізмів, які є важливими в контролі за безпечністю продовольчої продукції, в тому числі і ентеробактерій, в динаміці протягом регламентованого терміну її зберігання.

Запропонований спосіб полягає у використанні комп'ютерної програми на основі нейронних мереж і призначений для прискореного та ефективного визначення індикаторних мікроорганізмів, якими є мікроорганізми родини Enterobacteriaceae, в продовольчій сировині під час її зберігання охолодженою.

Найбільш актуальними ризиками для здоров'я споживачів харчових продуктів є мікробіологічні. Згідно з епідеміологічними даними, в усіх розвинених країнах світу збільшились випадки харчових захворювань у людей. Це пов'язано в більшій мірі з порушеннями в режимах зберігання продовольчої сировини та продукції. Розроблення даного способу обґрунтовано актуальною необхідністю вдосконалення існуючих та розробки нових методів контролю харчової безпечності на основі сучасних підходів, і зокрема з використанням штучного інтелекту - комп'ютерних програм. Такі комп'ютерні програми дають можливість за використанням невеликої кількості даних отримати результати, які характеризують мікробіологічний стан харчового продукту на той термін його зберігання, який цікавить користувача програми.

Відомі класичні лабораторні способи виявлення та ідентифікації бактерій родини Enterobacteriaceae, що базуються на вивченні культуральних та біохімічних властивостей даних мікроорганізмів. Один з таких методів наводимо як аналог корисної моделі.

Аналогом корисної моделі є спосіб визначення кількості бактерій родини Enterobacteriaceae, який полягає в посіві 1 см^3 попередньо-приготовленого досліджуваного матеріалу на глюкозо-жовчний агар з кристалвіолетом та нейтральним червоним. Після інкубації посівів при температурі $37 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 36 годин, здійснюється підрахунок кількості колоній, що виростили та визначається кількість колонієутворюючих одиниць в одиниці об'єму досліджуваного матеріалу (КУО/см³) [1].

Недоліком даного способу є те, що він є досить трудоемний базується на проведенні лабораторних досліджень, що є досить довготривалим (до 10 діб) та потребує значних матеріальних витрат.

Прототипом корисної моделі є спосіб прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в молоці коров'ячому збірному охолодженому з використанням штучної нейронної мережі (ШНМ) в комп'ютерній програмі NeuroPro. Зазначений спосіб був розроблений спеціально для визначення кількості психротрофних мікроорганізмів на основі експериментальних даних, отриманих з використанням класичних лабораторних методів посіву проб сирого охолодженого молока на поживне середовище, з врахуванням впливу таких чинників як кислотність молока та вміст у ньому білку, жиру. Для прогнозування кількості цих бактерій до зазначеної нейронної мережі вводилися фактичні 3 вхідні показники: КМАФАнМ в сирому молоці, температура і тривалість зберігання сирого молока [2].

Недоліками прототипу є те, що при його використанні не передбачено можливість зміни структури (типу, алгоритму навчання, кількості нейронів) та оптимальних налаштувань роботи ШНМ, що ускладнює процес контролю визначення точності цільового показника.

Подібними ознаками прототипу із заявленим способом є те, що для прогнозування використовується принцип штучних нейронних мереж, які попередньо необхідно навчити відповідно до поставленої задачі, використовуючи певні експериментальні дані [3].

Відмінною ознакою заявленого способу від прототипу є те, що для прогнозування використовується штучна нейронна мережа (ШНМ) у вигляді багат шарового перцептрона з оптимально підібраним значенням нейронів прихованого шару в кількості 30 нейронів, вводять до ШНМ 5 вхідних показників таких як температура зберігання сирого молока, тривалість його зберігання, вміст жиру, білка та кислотність молока. Ще однією відмінною ознакою є те, що як цільовий об'єкт досліджень є прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в збірному молоці корів з урахуванням подальших змін умов та часу зберігання та якісного складу молока.

В основу корисної моделі поставлена задача розробити спосіб прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae, наприклад в молоці коров'ячому збірному протягом його зберігання охолодженим з використанням штучної нейронної мережі (ШНМ) у вигляді багат шарового перцептрона з оптимально підібраним значенням нейронів прихованого шару в

кількості 30 нейронів. Передбачено, що використана комп'ютерна модель, має здатність навчатися до прийняття рішень щодо прогнозування кількості мікроорганізмів за різних умов їх існування (склад сировини чи продукту, термін та температура їх зберігання тощо) та які є більш швидкими порівняно з класичними мікробіологічними методами, а тому мають перспективу широкого застосування при виробництві та обігу харчових продуктів. Виходячи з робочої гіпотези про можливість розробки способу, прогнозування кількості мікроорганізмів в продовольчій сировині та харчових продуктах обґрунтовується існуванням взаємозалежностей між впливом різних чинників на мікроорганізми та їх ростом та розмноженням за певні проміжки часу. Такі взаємозалежності можливо визначити лише поєднанням даних, отриманих в експериментальних моделях дослідів з результатами, які будуть опрацьованні математично-статистичним аналізом. Кількість мікроорганізмів в продукті може змінюватись в залежності від властивостей самого продукту (рН, вміст води та солей) та від параметрів його виготовлення і зберігання (температура, атмосфера, вологість, присутність іншої мікрофлори). Тому ефективно та швидко передбачити та визначити кількість мікроорганізмів в продуктах з урахуванням великої кількості чинників зовнішнього середовища можна лише шляхом комп'ютерного прогнозування.

Можливість створення прогностичних нейромережевих моделей комплексного впливу різних факторів зовнішнього (час, температура, вологість та ін.) та внутрішнього (складу) середовища на мікробіологічну якість молока (або інших харчових продуктів) відкривають значні перспективи застосування подібних способів контролю безпечності в харчовій промисловості.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae, наприклад в молоці коров'ячому збірному охолодженому, шляхом використання штучної нейронної мережі, згідно з корисною моделлю, використовують штучну нейронну мережу (ШНМ) у вигляді багатошарового персептрона з оптимально підібраним значенням нейронів прихованого шару в кількості 30 нейронів, вводять до ШНМ 5 вхідних показників таких як температура зберігання сирого молока, тривалість його зберігання, вміст жиру, білка та кислотність молока, при цьому середня помилка (відхилення) становить 1,255 %, а максимальна - 8,86 %.

Використання заявленого способу з усіма суттєвими ознаками, включаючи відмінні, дозволяє забезпечити збільшення швидкості, точності, інформативності, а також значне зменшення досліджень, необхідних для прогнозування кількості мікроорганізмів. Цей спосіб дозволить змінити реальні дослідження на математичні (комп'ютерні) моделі, що адекватно відображають найбільш важливі закономірності в досліджуваних об'єктах.

В нейронній моделі персептрона елемент Σ примножує кожен вхід x , на вагу w і підсумовує зважені входи. Якщо ця сума більше заданого порогового значення, вихід дорівнює одиниці, в іншому випадку - нулю. Ці системи (і безліч їм подібних) складаються з одного шару штучних нейронів, з'єднаних за допомогою вагових коефіцієнтів з безліччю входів, хоча в принципі оцінюються і більш складними системами [4].

Розробку способу здійснювали виконуючи наступні етапи:

1. Створення бази даних про динаміку кількості бактерій, наприклад у сирому молоці під час зберігання його охолодженим в залежності від складу молока, температури охолодження і терміну зберігання в експериментальних моделях.

2. Завантаження бази даних в матричному виді до середовища штучної нейронної мережі (ШНМ).

3. Створення нейропроєкту, адаптація, розробка та вибір найкращого алгоритму навчання ШНМ для прогностичних цілей.

4. Створення моделі нейронної мережі та аналіз її прогнозуючої здатності.

Для створення бази експериментальних даних, використали моделі зберігання, наприклад сирого молока, з вихідною кількістю бактерій родини Enterobacteriaceae 10000 КУО/см^3 , за дії різних охолоджуючих температур і термінів його холодильного зберігання, з подальшою зміною умов та часу зберігання та якісного складу молока. Саме кількість бактерій родини Enterobacteriaceae в подальшому будуть результатом нейропрогнозу.

Моделі для експериментів були наближені до практичних умов виробництва та зберігання сирого молока. У моделях використовували проби сирого молока з різним вмістом жиру, білка та різної кислотності, які зберігали за різних параметрів температури та тривалості. Кожну пробу молока досліджували через 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 36 та 48 годин за температури зберігання 4, 6, 8 та 10°C . Вплив кислотності молока на кількість бактерій родини Enterobacteriaceae визначався за наступних значень - 16, 17, 18, 19, 20°T . Варіації вмісту жиру в молоці були наступними - 3,2, 3,6, 4, 4,5 (%), а вміст білка - 2,9, 3, 3, 3(%).

Створення нейропроєкту це введення отриманої бази експериментальних даних до штучної мережі комп'ютерної програми. Навчання штучної нейронної мережі (ШНМ) прогнозувати цільовий показник за наявними даними та проведення її тестування шляхом введення різних нових значень режимів зберігання сирого молока в охолоджену стані з послідувочою перевіркою отриманих даних класичним методом посіву на поживне середовище.

Створення моделі нейронної мережі - це отримання статистичної інформації та оцінювання прогнозуючої здатності щодо достовірності прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в сирому охолоджену молоці протягом зберігання.

При використанні нейронної штучної мережі необхідно ввести 5 вхідних параметрів (користувач вводить власні показники):

- температура зберігання молока (°C);
- період (термін) зберігання молока охолодженим (години);
- кислотність молока (°T);
- вміст жиру (%);
- вміст білка (%);

Штучна нейронна мережа у вигляді багат шарового перцептрона для прогнозування має один вихідний параметр - прогнозована кількість мікроорганізмів родини Enterobacteriaceae та 5 вхідних показників, таких як температура зберігання сирого молока, тривалість його зберігання, уміст жиру, білка та кислотність молока.

Встановлення ефективності способу прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в молоці коров'ячому збірному охолоджену з використанням ШНМ у вигляді багат шарового перцептрона протягом його зберігання проводили шляхом порівняння експериментальних даних та даних, отриманих з використанням комп'ютерного прогнозу.

При цьому відхилення між фактичним даними та нейропрогнозом були незначними середня похибка становила 125,731 (КУО/ см³), що у відсотках становить від 1,255 % залежно від характеристик відповідних проб молока.

Корисна модель ілюструється наступними прикладами.

Приклад I. Прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в молоці коров'ячому збірному охолоджену в залежності від різних значень терміну зберігання молока (перемінна величина). Вихідна кількість бактерій родини Enterobacteriaceae-10000 КУО/ см³ (величина, що прогнозується). В цьому прикладі наступні показники молока були сталими і становили: температура зберігання 6 °C, масова частка жиру 4,5 %, вміст білка 3,3 %, кислотність 16°T. Зміну кількості бактерій визначали через 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 36 та 48 годин зберігання молока збірному охолоджену. Ефективність запропонованого способу в даному прикладі визначали шляхом порівняння результатів експериментальних досліджень та нейропрогнозу. Результати досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Встановлення ефективності способу прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в молоці збірному охолоджену з використанням ШНМ у вигляді багат шарового перцептрона в залежності від значень часу зберігання молока

| Час, год. | Кількість бактерій родини Enterobacteriaceae, КУО/ см ³ | | Ступінь достовірності | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------|-------|
| | Фактично | Нейропрогноз | Відхилення | % |
| 1 | 10000 | 9977,92 | 22 | 0,221 |
| 2 | 10000 | 10025,58 | 26 | 0,256 |
| 4 | 10000 | 10160,41 | 160 | 1,604 |
| 6 | 10100 | 10143,19 | 43 | 0,428 |
| 8 | 10250 | 10123,25 | 127 | 1,237 |
| 10 | 10500 | 10573,26 | 73 | 0,698 |
| 12 | 10800 | 10636 | 164 | 1,519 |
| 16 | 10800 | 10780,29 | 20 | 0,182 |
| 20 | 10800 | 10851,53 | 52 | 0,477 |
| 24 | 10800 | 10709,45 | 91 | 0,838 |
| 36 | 10800 | 10750,19 | 50 | 0,461 |
| 48 | 10320 | 10542,96 | 223 | 2,160 |

Приклад II. Прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в молоці коров'ячому збірному охолоджену в залежності від різної масової частки жиру в ньому

- (перемінна величина). Вихідна кількість бактерій родини Enterobacteriaceae-10 000 КУО/ см³ (величина, що прогнозується. В цьому прикладі наступні показники молока були сталими і становили: титрована кислотність 20°Т, вміст білка 3,0 %, температура зберігання 8 °С. Зміну кількості бактерій визначали через 48 годин зберігання молока збірною охолодженого.
- 5 Ефективність запропонованого способу в даному прикладі визначали шляхом порівняння результатів експериментальних досліджень та нейропрогнозу. Результати досліджень наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Встановлення ефективності способу прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в молоці коров'ячому збірному охолодженому з використанням ШНМ у вигляді багат шарового персефрона в залежності від різної кількості масової частки жиру в ньому

| Масова частка жиру в молоці, % | Кількість бактерій родини Enterobacteriaceae, КУО/ см ³ | | Ступінь достовірності | |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------|------|
| | Фактично | Нейропрогноз | Відхилення | % |
| 4,5 | 10600 | 10444,51 | 155,49 | 1,47 |
| 4 | 10600 | 10449,5 | 150,5 | 1,42 |
| 3,6 | 10600 | 10453,66 | 146,34 | 1,38 |
| 3,2 | 10600 | 10457,93 | 142,07 | 1,34 |

- 10 Приклад III. Прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в молоці коров'ячому збірному охолодженому в залежності від різної кількості білка в ньому (перемінна величина). Вихідна кількість бактерій родини Enterobacteriaceae-10000 КУО/ см³ (величина, що прогнозується). В цьому прикладі наступні показники молока були сталими і становили:
- 15 титрована кислотність 17°Т, масова частка жиру 3,6 %, температура зберігання 10 °С. Зміну кількості бактерій визначали через 24 годин зберігання коров'ячого молока збірною охолодженого. Ефективність запропонованого способу в даному прикладі визначали шляхом порівняння результатів експериментальних досліджень та нейропрогнозу. Результати досліджень наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Встановлення ефективності способу прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в молоці коров'ячому збірному охолодженому з використанням ШНМ у вигляді багат шарового персефрона в залежності від різної кількості білка в ньому

| Кількість білка, в% | Кількість бактерій родини Enterobacteriaceae, КУО/ см ³ | | Ступінь достовірності | |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------|------|
| | Фактично | Нейропрогноз | Відхилення | % |
| 2,9 | 11850 | 11633,08 | 216,92 | 1,83 |
| 3 | 11850 | 11741,42 | 108,58 | 0,92 |
| 3,3 | 11950 | 11795,88 | 154,12 | 1,29 |

- 20 Приклад IV. Прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в молоці коров'ячому збірному охолодженому в залежності від різних значень титрованої кислотності молока (перемінна величина). Вихідна кількість бактерій родини Enterobacteriaceae-10000 КУО/ см³ (величина, що прогнозується). В цьому прикладі наступні показники молока були сталими і
- 25 становили: температура зберігання 8 °С, масова частка жиру 4,0 %, вміст білка 3,0 % Зміну кількості бактерій визначали через 16 годин зберігання молока збірною охолодженого. Ефективність запропонованого способу в даному прикладі визначали шляхом порівняння результатів експериментальних досліджень та нейропрогнозу. Результати досліджень наведені в таблиці 4.
- 30

Таблиця 4

Встановлення ефективності способу прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в молоці збірному охолоджену в залежності від різних значень титрованої кислотності молока

| Кислотність, °Т | Кількість бактерій родини Enterobacteriaceae, КУО/ см ³ | | Ступінь достовірності | |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------|-------|
| | Фактично | Нейропрогноз | Відхилення | % |
| 16 | 13800 | 13891,92 | 91,92 | 0,666 |
| 17 | 10950 | 11092,38 | 142,38 | 1,300 |
| 18 | 10600 | 10631,24 | 31,24 | 0,295 |
| 19 | 10280 | 10319,49 | 39,49 | 0,384 |
| 20 | 10175 | 10289,10 | 114,1 | 1,121 |

5 Приклад V. Прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в молоці коров'ячому збірному охолоджену в залежності від впливу комплексу перемінних величин: температури зберігання, масової частки жиру, масової частки білка, терміну зберігання молока: при цьому вихідна кількість бактерій родини Enterobacteriaceae становила 10 000 КУО/ см³ - (величина, що прогнозується). Ефективність запропонованого способу визначали шляхом порівняння результатів експериментальних досліджень та нейропрогнозу. Результати досліджень наведені в таблиці 5.

10

Таблиця 5

Встановлення ефективності способу прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в молоці коров'ячому збірному охолоджену з використанням ШНМ (багатощарового перцептрона) в залежності від впливу різних його фізико-хімічних показників

| Темп, зберіг., °С | Вміст жиру, % | Вміст білка, % | Кисл. °Т | Час, год. | Фактично | Прогноз | Ступінь достовірності | |
|-------------------|---------------|----------------|----------|-----------|----------|----------|-----------------------|-------|
| | | | | | | | Відхилення | % |
| 10 | 4,5 | 2,9 | 20 | 20 | 10640 | 10804,85 | 165 | 1,549 |
| 8 | 4,5 | 2,9 | 16 | 36 | 14800 | 14430,49 | 370 | 2,497 |
| 4 | 4 | 3 | 20 | 8 | 6690 | 6972,05 | 282 | 4,216 |
| 6 | 4 | 3 | 18 | 24 | 10600 | 10659,36 | 59 | 0,560 |
| 10 | 3,2 | 3 | 17 | 48 | 16650 | 16727,88 | 78 | 0,468 |
| 10 | 3,2 | 3,3 | 19 | 48 | 15000 | 15327,69 | 328 | 2,185 |

15 Як видно з наведених прикладів I-V запропонований спосіб прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae в молоці протягом зберігання, з використанням ШНМ у вигляді багатощарового перцептрона в залежності від його кислотності та вмісту жиру та білка в ньому має високу ступінь достовірності оскільки середня помилка (відхилення) становить 1,255 %, а максимальна - 8,86 %.

Джерела інформації:

1. Detection and Enumeration of Enterobacteriaceae/ National Standard Method F18, 2005.
2. Патент України на корисну модель № 108873 Спосіб прогнозування кількості психротрофних мікроорганізмів в молоці коров'ячому збірному охолоджену з використанням штучних нейронних мереж /О.М. Бергілевич, В.В.Касянчук, О.О. Бергілевич; заявник Сумський НАУ. -заявл. 20.07.2015; опубл. 10.08.2016. Бюл. № 15.-5 с.
3. Компьютерное моделирование биотехнологических процессов и систем: Учеб. пособие / Д.С. Дворецкий, СИ. Дворецкий, Е.И. Муратова, А.А. Ермаков. - Тамбов: Изд-во ТГТУ.-2005. - 80 с.
4. Искусственные нейронные сети. Теория и практика.-2-е изд., стереотип. /Круглов В.В., Борисов В.В. - М.: Горячая линия-Телеком, 2002. - 382с: ил.

30

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб прогнозування кількості бактерій родини Enterobacteriaceae, наприклад в молоці коров'ячому збірному охолоджену, шляхом використання штучної нейронної мережі, який **відрізняється** тим, що використовують штучну нейронну мережу (ШНМ) у вигляді

багатошарового персептрона з оптимально підібраним значенням нейронів прихованого шару в кількості 30 нейронів, вводять до ШНМ 5 вхідних показників таких як температура зберігання сирого молока, тривалість його зберігання, уміст жиру, білка та кислотність молока, при цьому середня помилка (відхилення) становить 1,255 %, а максимальна - 8,86 %.

5

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601