

УДК 338.3

Ю. І. Сенік,

к. б. н., старший викладач кафедри екології та охорони здоров'я, старший викладач кафедри підприємництва і торгівлі, Західноукраїнський національний університету

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8164-7783>

DOI: 10.32702/2306-6792.2023.19.58

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОДУКЦІЇ, ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОЗДАТНОСТІ МОЛОКОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Yu. Senyk,

PhD in Biological Sciences, Senior Lecturer of the Department of Ecology and Health Care, Senior Lecturer of the Department of Entrepreneurship and Trade, West Ukrainian National University, Ternopil

STATISTICAL ANALYSIS OF THE RESULTS OF ORGANOLEPTIC INDICATORS OF PRODUCTS AS A METHOD OF INCREASING THE COMPETITIVENESS OF MILK PROCESSING ENTERPRISES

У статті розглянуто два основних типи органолептичного дослідження продукції: порівняльні тести та методи сортування. При аналізі порівняльних тестів виділено декілька типів: спрямоване парне порівняння ("примусовий вибір з двома альтернативами" "two-alternative forced choice"); тест парного порівняння ("проста різниця" або "те саме/різне" "the simple difference" or "the same/different"); тест "трикутник"; тест дует-тріо. Математично розділено кількість "правильних відповідей", отриманих на основі свідомого вибору при відчутті різниці у смаку та "випадковим" вибором правильної відповіді. Також розглянуто метод перевірки подібності продукції, який ґрунтується на порівнянні максимально допустимої частки членів комісії, які здатні надати свідомо правильну відповідь. Для цього проаналізовано підхід, запропонований Meilgaard M. та співавторами: встановлення верхньої межі кількості членів комісії; розрахунок очікуваного значення достовірно правильних відповідей; введення у довірчий інтервал поправки на умову свідомого прийняття правильного рішення членами експертної комісії. Статистичний аналіз різних методів оцінки органолептики продукції не характеризує кожного члена дегустаційної комісії індивідуально, а описує загальну концепцію формування результатів досліджень такого типу. При цьому розраховується найбільш імовірна частка людей, які здатні встановити різницю в смакових властивостях зрізів продукції, таким чином, відповідають правильно, а не тих, хто випадково відповідає правильно. Статистична оцінка органолептичних досліджень з врахуванням вказаних вище припущень дозволяє прийняти на їх основі виважене бізнес-рішення, яке матиме значний економічний ефект для підприємства.

The article discusses two main types of organoleptic research of products, comparative tests and sorting methods. In the analysis of comparative tests, several types are distinguished: directed pairwise comparison ("two-alternative forced choice"); pairwise comparison test ("the simple difference" or "the same/different"); "triangle" test; duet-trio test. Mathematically, the number of "correct answers" obtained on the basis of conscious choice when feeling the difference in taste and "random" selection of the correct answer is divided. Also considered is the method of checking the similarity of products, which is based on a comparison of the maximum permissible share of commission members who are able to give a consciously correct answer. For this, the approach proposed by Meilgaard M. and co-authors was analyzed: establishing the upper limit of the number of commission members; calculation of the expected value of reliably correct answers; introduction of an amendment to the confidence interval on the condition that members of the expert commission consciously make the right decision. The principle of statistical hypothesis testing was used to assess the efficiency of the technique or the "power" of the method. Thus, the performance of a test can be defined as the probability of establishing

a conscious difference between the product samples presented, or, from a statistical point of view, it is the probability of making the correct decision that two samples are reliably different. The statistical analysis of various methods of evaluating the organoleptic properties of products does not characterize each member of the tasting commission individually, but describes the general concept of the formation of research results of this type. At the same time, the most likely proportion of people who are able to establish the difference in the taste properties of product samples is calculated, thus answering correctly, and not those who accidentally answer correctly. Statistical evaluation of organoleptic studies, taking into account the above assumptions, makes it possible to make a balanced business decision based on them, which will have a significant economic effect for the enterprise.

Ключові слова: органолептична оцінка, статистичний аналіз, молочна продукція, конкурентоздатність, формула Аббота.

Keywords: organoleptic assessment, statistical analysis, dairy products, competitiveness, Abbott's formula.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Щодня у виробничих лабораторіях молокопереробних підприємств по всьому світу проводяться мільйони аналітичних визначень. Ці вимірювання необхідні для оцінки якості та безпеки як вхідної молочної сировини, так і готової продукції заводу. Всі ці аналізи та отримані результати так чи інакше підтримуються в аналітичній площині вимірювання. Вартість цих вимірювань висока, але ціна рішень, прийнятих на основі неправильних результатів, набагато більша [1]. Наприклад, тест, який помилково показує наявність заборонених згідно ДСТУ 3662:2018 [2] речовин в молочній сировині, може зумовити матеріальні втрати молокопереробного підприємства або розривання контракту постачальником сировини з підприємством. Не менших втрат завдадуть компанії недостовірні дослідження однієї з державних лабораторій, які можуть отримати статистично недостовірну інформацію, яка при повторному дослідженні не буде підтверджена, тим не менш негативно позначиться на репутації, особливо в очах споживачів. Таким чином, важливість надання статистично достовірного результату очевидна, але не менш важливо мати можливість довести, що результат правильний.

Для кількісних методів дослідження, то після того, як аналітична проблема поставлена перед лабораторією та обрано аналітичний метод, наступним кроком є внутрішня перевірка методу. Це процес визначення аналітичних вимог для вирішення проблеми та підтвердження того, що розглянутий метод має характеристики, що відповідають необхідним. Результати валідаційних експериментів повинні бути оцінені, щоб переконатися, що метод відповідає вимогам вимірювання [3]. Щодо якісних — ек-

спертних методів, то найчастіше у молочної промисловості їх застосовують для оцінки якості продукції на основі органолептичних характеристик. Як відомо, цей показник якості готового продукту є визначальним для успішності підприємства, а покращення цієї характеристики продукту дозволить підвищити конкурентоздатність компанії [5].

Для підвищення ефективності та конкурентоздатності молокопереробні підприємства повинні використовувати статистичний аналіз лабораторних досліджень та приймати рішення лише на основі достовірних даних, адже хибна інтерпретація показників може мати негативні наслідки для всього підприємства.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблематику кількісного підходу до експертних методів аналізу піднімали у своїх наукових дослідженнях науковці, зокрема: Циба В. [5], Antinone M.A. з колегами [8], Basker D. [9], Ennis D.M. [10], Lawless H.T. [12], Meilgaard M. з колегами [14], Whiting R. та інші [20]. Проте детальнішого дослідження потребують можливості застосування цих підходів до молочної продукції та їх реалізація на практиці.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою статті є опис кількісного підходу органолептичних показників молочної продукції для прийняття зваженого і виправданого для підприємства рішення.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Найбільш поширеним способом оцінки органолептичних якостей є метод виключення,

який забезпечує перевірку наявності відмінностей у флейворі двох зразків продукту [14, 19]. Представлені зразки продукту можуть хімічно (за складом компонентів) відрізнятися, що, найчастіше, застосовують виробники, коли змінюють рецептуру виготовлення, використовуючи різні інгредієнти, водночас не бажаючи, щоб споживач помітив різницю. Наприклад, виробник йогурту для підвищення рентабельності продукції може замінити дорогий аромат ванілі, який використовується в їхньому ванільному продукті преміум-класу, на дешевший аромат ванілі. Тим не менш, для успішності таких змін необхідно, щоб споживачі не відчули різницю в продукті. Правильно проведений тест на виключення дозволить компанії дозволить оцінити можливість здійснення заміни рецептури з мінімальним ризиком для продажів продукту. Також метод виключення може бути використаний при внесенні змін в технологічну обробку продукту, які не повинні вплинути на сенсорні характеристики продукту. В обох цих випадках метою дослідження є підтвердження "нульової гіпотези" — подібність обох зразків продукту.

Однак, коли працівники R&D змінюють рецептуру продукту для його покращення, тоді метою методу виключення є підтвердження відмінності обох зразків продукту — відхилення "нульової гіпотези". Тим не менш, необхідно розуміти, що якщо різниця між вибірками дуже велика і тому очевидна, метод виключення застосовувати не доцільно. Якщо попередні стендові тести показують, що обидва зразки будуть помітно відрізнятися для всіх учасників експертної групи, необхідно використати методи масштабування або ранжування.

Існує ряд різних тестів для реалізації методу виключення, включаючи трикутні тести, тести дуо-тріо, тести парного порівняння, n-альтернативні тести примусового вибору, тетрадні тести [11], полігональні та поліедричні тести [9].

Порівняльні тести. Існують дві аналітичні сенсорні форми цього тесту:

1. Спрямоване парне порівняння ("примусовий вибір з двома альтернативами" — "two-alternative forced choice"). Цей тест є одностороннім та застосовується у разі необхідності визначити, чи відрізняються два зразки за певною властивістю — смак, консистенція. Реалізація дослідження проста — експертній комісії надаються одночасно два зразки продукту і пропонується визначити який з них за досліджуваним сенсорним атрибутом є кращим. Член дегустаційної комісії аналізує продукти та вно-

сить результати дослідження в особистий протокол. Важливою особливістю тесту спрямованого парного порівняння є варіативність дослідження проб — АВ і ВА. Ці послідовності мають бути рандомізовані між членами експертної групи з рівною кількістю учасників.

2. Тест парного порівняння ("проста різниці" або "те саме/різне" — "the simple difference" or "the same/different") — передбачає проведення органолептичного дослідження продукту та формування висновку, чи відрізняються проаналізовані зразки [14]. Важливою особливістю цього тесту є те, що дегустатору не надається інформація, щодо характеристики продукту, яка змінена. Таким чином, членам експертної комісії необхідно лише порівняти два зразки та вирішити, схожі вони чи відрізняються. Для цього тесту характерна більша варіативність дослідження продукту — АА, ВВ, АВ, ВА. Ці послідовності повинні бути рандомізовані серед дегустаторів, причому в рівній мірі.

Вибір одного з двох методів органолептичного аналізу продукту залежить від мети дослідження. Наприклад, якщо члени експертної групи знають, що два зразки відрізняються лише за певним сенсорним атрибутом, тоді використовується метод примусового вибору з двома альтернативами. З точки зору статистики завжди ефективніше використовувати спрямоване парне порівняння, що визначає сенсорний атрибут, за яким зразки відрізняються.

Враховуючи математичну основу обох методів парного порівняння, ймовірність випадкового вибору конкретного продукту становить $1/2$. В обох випадках нульова гіпотеза стверджує, що в довгостроковій перспективі (у всіх можливих реплікаціях і вибірках членів експертної комісії) вибір кожного продукту буде здійснений однаковою кількістю разів. Таким чином, ймовірність нульової гіпотези $P = 0,5$, тому перевірка статистичних гіпотез у такому форматі аналізу є частиною виводкової статистики. Якщо виразити це припущення математичною термінологією, то можна отримати таке твердження: якщо базова сукупність експертів не може розрізнити вибірки за обраною якістю продукту, то ймовірність вибору вибірки А (P_a) дорівнює ймовірності вибору вибірки В (P_b):

$$H0 : P_a = P_b = \frac{1}{2} \quad (1).$$

Історичний підхід для зменшення впливу випадкового фактору вибору членом експертної групи полягав у використанні поправочного коефіцієнту, тобто рівня правильних відповідей без свідомого вибору. Формула для вип-

равленої пропорції відома як формула Аббота. Модель проста, але вона охоплює два припущення, перше з яких — під час органолептичного аналізу продукції із застосуванням методу виключення присутні два типи учасників — члени комісії, які здатні відрізнити смакові властивості продукту і, відповідно, свідомо вибирають правильне значення, і члени комісії, які вибирають правильне значення за методом здогадки. Друге припущення — до складу членів комісії, які не здатні відрізнити смакові властивості продукту належать люди, які вгадують правильно, і ті, хто дає неправильну відповідь. Таким чином, загальна кількість правильних суджень є адитивною величиною відповідей людей, які бачать різницю і правильно відповідають, і тих, хто правильно здогадується.

У порогових показниках методу "two-alternative forced choice" лише 50% правильних показників, після коригування щодо можливості вгадування, береться до уваги [8]. Наприклад, у тесті трикутника або тесті з примусовим вибором із трьох альтернативами рівень шансів "вгадати" правильну відповідь становить 1/3, тому з поправкою на ймовірність до уваги береться вже 66,7% відповідей. Якщо використовувався парний тест або дует-тріо, рівень достовірності з 50% зростає до 75%. Виходячи з цього, можна трансформувати формулу Аббота таким чином, щоб знайти можливий відсоток правильних відповідей, враховуючи частку частку взірців у тесті:

$$P_{\text{розрахункова, \%}} = P_{\text{достовірних, \%}} + P_{\text{хибно вірних, \%}} (1 - P_{\text{не правильної відповіді}}) \quad (2),$$

де $P_{\text{достовірних, \%}}$ — ймовірність отримання достовірних відповідей під час тесту; $P_{\text{хибно вірних, \%}}$ — ймовірність отримання хибно позитивних відповідей під час тесту; $(1 - P_{\text{правильної відповіді}})$ — поправочний коефіцієнт можливості збільшення достовірно правильних відповідей під час зміни кількості взірців продукції в тестуванні.

Наприклад, при застосуванні в методі на виключення не двох взірців, а трьох, частка істинно правильних відповідей згідно формули (2) становитиме:

$$P_{\text{розрахункова, \%}} = 50\% + 50\%(1 - 2/3) = 66.7\%$$

Описаний вище статистичний аналіз ймовірності достовірних відповідей при органолептичному аналізі продукції членами дегустаційної комісії не характеризує кожного індивідуально, а описує загальну концепцію формування результатів досліджень такого типу. Модель просто оцінює найбільш імовірну частку людей, які здатні встановити різницю в смакових вла-

стивостях взірців продукції, таким чином, відповідають правильно, а не тих, хто випадково відповідає правильно. Іншими словами, проблема полягає в тому, скільки членів комісії дійсно володіють необхідними органолептичними якостями. На основі статистичних шансів правильного "вгадування" можна розрахувати кількість дегустаторів, які здійснили цей вибір. Аксиомою цього припущення буде те, що загальна кількість правильних відповідей становитиме адитивне значення членів комісії, які свідомо зробили правильний вибір продукції і тих, хто правильно вгадав. Формула (3) є математичним вираженням цього твердження:

$$PB = A + \frac{1}{n}(N - A) \quad (3),$$

де PB — кількість правильних відповідей; A — кількість членів комісії, які здатні встановити органолептичні відмінності продукції; N — загальна кількість членів комісії; n — кількість взірців продукції для порівняння.

Наприклад, в процесі органолептичного аналізу готової продукції 50 членами дегустаційної комісії за методом виключення отримано 30 правильних відповідей, і голові комісії необхідно встановити теоретичну кількість дегустаторів, які свідомо встановили різницю:

$$30 = A + \frac{1}{2}(50 - A) = \frac{1}{2}A + 25 = 10.$$

Таким чином, лише 10 дегустаторів із 50 членів комісії (20% вибірки) дійсно відчували різницю в смаку продукту, що відрізняється від співвідношення правильних відповідей (30/50 = 60%). Такий статистичний аналіз може представити результати сенсорного аналізу з іншої точки зору, яка потенційно є кориснішою, ніж відсоток правильних відповідей.

Такий підхід до аналізу даних органолептичного контролю продукції має ряд переваг:

1. Дозволяє керівництву компанії встановити додаткову точку відліку для інтерпретації результатів експертної комісії. Тим не менш, зі збільшенням чисельності членів комісії загальна кількість правильних відповідей зростатиме, що зумовить зменшення статистичної значущості, яка наблизатиметься до значення випадковості. Таким чином, отримані дані органолептичного аналізу продукту повинні бути частиною масштабних досліджень продукту, але не повинні бути єдиним критерієм для прийняття бізнес-рішень.

2. Такий підхід є критерієм для встановлення кількості взірців для аналізу та орієнтиром для перевірки подібності або відмінності продуктів. Паралельно з розрахунком необхідної кількості взірців експериментатор повинен

прийняти рішення про мінімальне значення, яке дозволить підтвердити альтернативну гіпотезу. Таким чином, необхідно застосувати формулу Аббота, щоб отримати необхідні значення.

Окрім статистичного аналізу при виборі кількості членів експертної комісії та числа взірців продукції необхідно дотримуватися принципу, який ґрунтується на рівні нормальної мінливості продукту та на тому, що очікують споживачі. В одній ситуації може бути сильна лояльність до бренду та споживачі потребуватимуть густої консистенції продукту. У цьому випадку може знадобитися невелика група експертів, щоб встановити достовірність змін в технологічному процесі або після зміни заправувальних культур.

Якщо розглянути принципи статистичного аналізу тесту "the simple difference", то експериментатор шукає точку, в якій довірчий інтервал навколо спостережуваної пропорції більше не перекриває рівень шансу на хибно позитивну відповідь. Тобто, це інший підхід до встановлення мінімального рівня, необхідного для підтвердження чи спростування "нульової гіпотези".

Метод перевірки подібності ґрунтується на порівнянні максимально допустимої частки членів комісії, які здатні надати свідомо правильну відповідь. Meilgaard M. та співавтори [14] пропонують розділити цей аналіз на три етапи:

1. Встановлення верхньої межі кількості членів комісії. Цей показник не може бути встановлений математично, а носить ситуативний характер. Як вже зазначалося вище, кількість дегустаторів залежатиме від рівня їх навиків, знання продуктів, розуміння бізнес-ситуації, ознайомлення з аналізом досліджень щодо очікувань споживачів.

2. Розрахунок очікуваного значення достовірно правильних відповідей за рівнянням (2). Потім необхідно порівняти виведене значення плюс його верхній довірчий інтервал з максимально допустимим показником, який було обрано до початку проведення дослідження. Якщо розрахункове значення менше допустимої межі, можна зробити висновок про статистично значущу схожість. Таким чином, нам необхідно знати два основних показники: значення достовірно правильних відповідей на тест та межі довірчого інтервалу навколо спостережуваної пропорції. Перший елемент розраховується згідно рівняння (2), а довірчий інтервал визначається як стандартна помилка ($\pm z$) при бажаному рівні довіри. Для верхнього одностороннього довірчого інтервалу при $p \leq 0,05$

$z = 1,65$. Таким чином, стандартну похибку можна розрахувати згідно рівняння:

$$S = \sqrt{\frac{\left(\frac{PB}{N}\right) \cdot \left(1 - \frac{PB}{N}\right)}{N}} \quad (4).$$

Знаючи стандартну похибку можна розрахувати довірчий інтервал:

$$\Delta I_{95\%} = \frac{PB}{N} \pm z(S) \quad (5).$$

Останнім кроком є введення у довірчий інтервал поправки на умову свідомого прийняття правильного рішення членами експертної комісії (коефіцієнт D). Наприклад, якщо розглянути тест з трьома взірцями продукції, то частка членів комісії, які свідомо здійснили вибір становить:

$$\frac{D}{N} = 1,5 \frac{PB}{N} - 0,5 \quad (6).$$

Із вказаного рівняння видно, що стандартна помилка, пов'язана з часткою свідомого вибору правильної відповіді у 1,50 рази більша за стандартну помилку статистичного розрахунку.

Для прикладу розглянемо гіпотетичну ситуацію: при аналізі трьох взірців продукції 60 членами експертної комісії, отримано 30 правильних відповідей. Таким чином, кількість членів, які свідомо зробили правильний вибір згідно рівняння (6) становить:

$$D = 1,5PB - 0,5N = 1,5 \cdot 30 - 0,5 \cdot 60 = 15$$

Частка членів комісії, які свідомо зробили правильний вибір становить:

$$W, \% = \frac{15}{60} \cdot 100\% = 25\%$$

Стандартна похибка методу з використанням трьох взірців продукції становить:

$$S = \sqrt{\frac{\left(\frac{30}{60}\right) \cdot \left(1 - \frac{30}{60}\right)}{60}} = 0,097$$

Таким чином, загальна похибка органолептичного дослідження становитиме:

$$1,65 \times 0,097 + 0,25 = 0,41 \text{ або } 41\%.$$

Схожий підхід до аналізу результатів органолептичних аналізів продукції розробив Р. Schlich [17], який запропонував теоретичні значення, які дозволяють сформулювати висновок про достовірність схожості чи відмінності флейвору продукції. Тим не менш, розраховані автором значення для різних методів аналізу достовірно характеризуватимуть систему за умов дотримання умов дослідження.

Таким чином, якщо встановлений у ході дослідження показник дорівнює або вище табличного значення, можна зробити висновок, що існує значна різниця між органолептичними характеристиками продукту. Якщо ж встанов-

Таблиця 1. Таблиця результатів розрахунку мінімальної кількості достовірних результатів тесту "дует-тріо" і "трикутник" за біноміальною формулою

Результати для тесту «дует-тріо»			Результати для тесту «трикутник»		
Кількість членів експертної комісії (n)	Кількість правильних відповідей (y) для ймовірності		Кількість членів експертної комісії (n)	Кількість правильних відповідей (y) для ймовірності	
	0,05	0,01		0,05	0,01
5	5	-	3	3	-
6	6	-	4	4	-
7	7	7	5	5	5
10	9	10	10	7	8
15	12	13	15	9	10
25	18	19	25	13	15
30	20	22	30	15	17
50	32	34	50	23	26

лений показник нижчий табличного значення, то можна зробити висновок про схожість взірців у межах вказаної ймовірності.

Тест "трикутник" передбачає одночасне представлення трьох зразків продукції членам дегустаційної комісії, два з яких одного складу, а один — іншого. Таким чином, перед дегустаторами може стояти одне з двох можливих завдань:

- встановити який взірець продукції відрізняється від двох інших;
- встановити які два взірці продукції схожі.

На основі цього можна розрахувати ймовірність правильного вибору, яка становить один до трьох.

Тест дует-тріо побудований на основі наявності еталонного взірця серед трьох присутніх на дегустації продуктів, при цьому членам комісії необхідно вибрати серед інших взірців найбільш схожий на еталон. Таким чином, ймовірність правильного вибору, коли немає помітної різниці між вибірками, становить один до двох. Існує два формати тесту дуо-тріо, а саме постійний еталонний тест дуо-тріо та збалансований еталонний тест дуо-тріо, які відрізняються за зразками, що використовуються як еталон.

Методи сортування передбачають сортування дегустаторами двох вибірок продукції за обраними характеристиками продукту. Ці підходи до органолептичного аналізу продукції використовуються для встановлення наявності достовірної різниці між двома зразки за смаковими, тактильними, візуальними чи ароматичними характеристиками. Тести сортування статистично дуже ефективні, бо ймовірність випадкового угадування дуже мала, наприклад, для тесту "два з п'яти" дорівнює 1 до 10, а для тесту Харріса-Калмуса — 1 до 70.

Тест "два з п'яти" проводиться за такою схемою: дегустатори отримують п'ять зразків продукту, які їм необхідно відсортувати на дві групи, одна група повинна містити два зразки, які відрізняються від трьох інших [7]. Як зазначалося вище, ймовірність випадкового вибору двох правильних вибірок із п'яти дорівнює лише 0,1, що є основною перевагою цього методу. Однак основним недоліком цього методу є можливість сенсорної втоми дегустатора через проведення повторних органолептичних оцінок зразків продукції. Ця техніка добре працює, коли зразки порівнюються візуально або тактильно, що було доведено у дослідженні [20].

Тест Харріса-Калмуса передбачає сортування восьми взірців (чотири зразки — взірці з однаковою концентрацією досліджуваного показника, а інших чотири зразки продукту містять різну концентрацію компоненту). Експертам необхідно відсортувати вісім зразків у дві групи по чотири, якщо експерт виконає завдання сортування неправильно йому надаються взірці продукції з вищою концентрацією компоненту. Тест продовжується поки експерт не відсортує правильно дві групи по чотири зразки, а концентрація компоненту продукту вважатиметься як пороговий рівень [12].

Окрім проведення органолептичного аналізу продукції, необхідно опрацювати отримані результати та прийняти на їх основі бізнес-рішення. Найбільш ефективним способом оцінки є статистичний аналіз даних дослідження, для цього використовують ряд підходів.

1. Одним з таких статистичних шляхів є застосування біноміального розподілу, який дозволяє встановити ступінь випадковості отриманих даних:

$$P(y) = \frac{n!}{y!(n-y)!} p^y p^{n-y} \quad (7),$$

де, n — загальна кількість отриманих результатів;

y — загальна кількість правильних результатів;

p — ймовірність здійснення випадкового правильного вибору;

n! та y!(n-y)! — факторіальну функцію.

Ряд авторів [15, 16] опублікували серію таблиць, які використовують біноміальну формулу для обчислення необхідної кількості правильних відповідей членів експертної комісії для підтвердження чи спростування гіпотези H1. За допомогою цієї таблиці (табл. 1) керівник експертної комісії приймає рішення про достатність результатів порівняльного тесту для прийняття рішення про наявність від-

мінностей у органолептичних властивостях продуктів.

Наприклад, у тесті "дует-тріо", в якому брали участь 50 членів експертної комісії, отримано 27 правильних відповідей. Згідно даних у таблиці 12 для такої кількості дегустаторів та ймовірністю в 95% кількість правильних суджень становить 32, що вказує на відсутність достовірної різниці між представленими взірцями продукції. У разі застосування тесту "трикутник" отримані результати органолептичного аналізу дозволили з ймовірністю у 99% стверджувати про наявність різниці між представленими продуктами.

2. Іншим підходом до аналізу отриманих даних органолептичного аналізу є порівняння фактичного набору частот з гіпотетичним значенням, для цього найкраще застосувати розподіл хі-квадрат. Для цього можна застосувати формулу, запропоновану дослідниками М.А. Amerine і Е.В. Roessler [6]:

$$\chi^2 = \frac{(O_1 - E_1 - 0,5)^2}{E_1} + \frac{(O_2 - E_2 - 0,5)^2}{E_2} \quad (8),$$

де O_1 — кількість правильних результатів, отриманих у тестуванні;

O_2 — кількість неправильних варіантів, отриманих у тестуванні;

E_1 — очікувана кількість правильних відповідей, яка становить добуток загальної кількості досліджень (n) помножену на ймовірність (p) випадкового вибору правильної відповіді відповідно до типу застосовуваного тесту:

$p = 0,100$ для тесту "два з п'яти";

$p = 0,500$ для тесту "дуо-тріо" та порівняльних тестів на основі вибору з двох взірців;

$p = 0,333$ для тесту "трикутник";

E_2 — очікувана кількість неправильних варіантів, яка відповідає добутку загальної кількості досліджень (n) помноженої на ймовірність ($q = 1 - p$) випадкового вибору неправильної відповіді відповідно до типу застосовуваного тесту:

$q = 0,900$ для тесту "два з п'яти";

$q = 0,500$ для тесту "дуо-тріо" та порівняльних тестів на основі вибору з двох взірців;

$q = 0,667$ для тесту "трикутник".

У формулу (8) внесено поправку на безперервність, яка становить $(-0,5)$, вона необхідна, бо розподіл χ^2 є безперервним, а частоти, що спостерігаються в органолептичних дослідженнях, є цілими числами. У зв'язку з цим, статистичне наближення може знаходитися в межах точності $1/2$.

Використання тестів на виключення дозволяє встановити статистичну достовірність відмінності двох продуктів за сенсорними ха-

рактеристиками, таким чином, ступені свободи для цього типу аналізу дорівнюють одиниці ($f = 1$). У зв'язку з цим, критичне значення χ^2 при ймовірності 95% становить 3,84, що необхідно враховувати при інтерпретації даних згідно формули (8). Наприклад, проведено органолептичне дослідження готового продукту, виготовленого за новою рецептурою, використовуючи тест "дуо-тріо". Сформовано експертну групу з 50 дегустаторів, при цьому 24 з них правильно встановили новий продукт. Для прийняття рішення щодо впровадження нової рецептури у виробництво необхідно розрахувати значення χ^2 .

$$E_1 = 50 \cdot 0,5 = 25$$

$$E_2 = 50 \cdot 0,5 = 25$$

$$\chi^2 = \frac{(|24 - 25| - 0,5)^2}{25} + \frac{(|26 - 25| - 0,5)^2}{25} = 0,02$$

Отримане значення χ^2 менше критичного значення при ймовірності 95%, а тому новий продукт достовірно не відрізняється від продуктів, виготовлених за попередньою рецептурою. Для підтвердження зворотного твердження мінімальна кількість правильних відповідей повинна була б становити — 33.

Третім способом статистичної оцінки отриманих результатів органолептичного аналізу продукції є нормальний розподіл. Так, Н. Stone і J.L. Sidel [18, 19] у своїх роботах розробили формулу для інтерпретації даних порівняльних тестів на основі вибору з декількох взірців:

$$Z = \frac{X - np - 0,5}{\sqrt{npq}} \quad (9),$$

де, X — кількість правильних відповідей;

p — ймовірність випадкового вибору правильної відповіді відповідно до типу застосовуваного тесту: $p = 0,100$ для тесту "два з п'яти"; $p = 0,500$ для тесту "дуо-тріо" та порівняльних тестів на основі вибору з двох взірців; $p = 0,333$ для тесту "трикутник";

q — ймовірність ($q = 1 - p$) випадкового вибору не правильної відповіді відповідно до типу застосовуваного тесту: $q = 0,900$ для тесту "два з п'яти"; $q = 0,500$ для тесту "дуо-тріо" та порівняльних тестів на основі вибору з двох взірців; $q = 0,667$ для тесту "трикутник";

n — загальна кількість відповідей.

Як і при розрахунку значення χ^2 , необхідно зробити поправку безперервності на $-0,5$, також схожість у аналізі даних з розподілом хі-квадрат пов'язана із використанням однакових вхідних даних. Так, критичне значення z для одностороннього тесту при ймовірності у 95% становить 1,645.

Окрім вибору методу статистичної обробки результатів, перед керівником експертної комісії постає питання щодо використання найбільш ефективного методу оцінки органолептичних показників продукції. Для оцінки такої ефективності методики або, як зазначається в іноземних публікаціях, "сили" ("power") методу можна використати принцип статистичної перевірки гіпотези, який було описано вище по тексту. Таким чином, ефективність тесту може бути визначена як ймовірність встановлення свідомої різниці між представленими збірками продукції або, з точки зору статистики, це ймовірність прийняття правильного рішення, що дві вибірки достовірно відрізняються. Факторами, які визначають потужність тесту є:

- фактична різниця між вибірками;
- значення показника альфа (α);
- кількість членів експертної комісії.

Як вже зазначалося раніше, впровадження статистичної оцінки будь-яких результатів дослідження у виробничій лабораторії носить значний економічний ефект для підприємства це також стосується і оцінки ефективності методу контролю флейвору продукції. Для візуалізації цього наведемо такі приклади.

Виробник молочної продукції хоче переконатися в тому, що нова заквашувальна культура забезпечує кращу консистенцію сметани у порівнянні з попередньою. Перед дослідженням керівник дегустаційної комісії встановив, що ймовірність помилки типу I буде прийнятною при $\alpha = 0,01$, тобто шанс зробити помилку I типу становить 1 до 100. Для перевірки гіпотези проведено органолептичне дослідження продукції і дані вказують на те, що нульову гіпотезу слід відхилити. Керівник експертної комісії стикається з двома статистичними можливостями:

- нульова гіпотеза хибна, і її слід відхилити — нова заквашувальна культура забезпечує кращу консистенцію для продукту;
- нульова гіпотеза правильна, а під час дослідження допущено помилку першого типу нова заквашувальна культура не забезпечує кращу консистенцію для продукту.

Зазвичай, для такого типу досліджень можливість допущення помилки I типу мінімізується, тому показник його "сили" не має визначальної ролі при інтерпретації отриманих даних.

Зовсім інша ситуація для інтерпретації даних дослідження, метою якого є встановити схожість між двома продуктами. Наприклад, для підвищення маржі продукту підприємство

приймає рішення замінити дорогий фруктовий наповнювач для йогуртів на дешевший аналог, однак працівники маркетингу не хочуть, щоб споживач відчув різницю в продукті. Для перевірки цієї гіпотези проведено тест "трикутник", при цьому дані показали, що нульову гіпотезу не слід відкидати. Аналогічно як і в попередньому прикладі, перед керівником експертної комісії стоїть вибір:

— нульова гіпотеза вірна — продукти не відрізняються за органолептичними показниками;

— нульова гіпотеза хибна — зразки помітно відрізняються, але було допущено помилку типу II. Для підтвердження дотримання всіх вимог до об'єктивної оцінки збірок продукції необхідно, щоб "потужність" тесту була максимальною.

Розрахунок показника "потужності" органолептичного тесту є складним, бо враховуються суб'єктивні фактори — відчуття смаку продукту. Одним з найефективніших підходів для забезпечення достовірності отриманих результатів сенсорного аналізу є використання великої вибірки ($n = 50$ або більше). Велика вибірка забезпечить об'єктивність інтерпретації отриманих даних та дозволить перевірити ті припущення, які були введені у рівняння розрахунку "потужності" тесту.

На сьогоднішній день у цьому напрямку статистики є напрацювання ряду авторів, які розробили власні формули для розрахунку "потужності" органолептичних тестів, а результати представили у вигляді таблиць [10, 13, 17]. Кожна з цих систем розрахунку є унікальною та відрізняється одна від одної, причиною чого є прийняття різних за цифровим вираженням припущень, а незначні відмінності зумовили розбіжності у розрахунках "потужності".

ВИСНОВКИ З ПРОВЕДЕНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Точність досліджень для будь-якого підприємства є пріоритетним, так як дозволяє ефективно використовувати вкладені кошти. Особливо гостро це питання стоїть перед молокопереробними підприємствами України, адже ціна на молочну сировину станом на 2022—2023 рік є значно вищою, у порівнянні з попередніми роками, саме тому використання високоточних методів дозволить забезпечити конкурентоздатність на ринку молочних продуктів.

Вибір методів органолептичного аналізу молочного продукту залежить від мети дослідження, тим не менш, з точки зору статистики

завжди ефективніше використовувати спрямоване парне порівняння, що визначає сенсорний атрибут, за яким зразки відрізняються.

При кількісній оцінці результатів органолептичного дослідження необхідно враховувати два припущення: на дегустації присутні два типи учасників — ті, які здатні відрізнити смакові властивості продукту і, відповідно, свідомо вибирають правильне значення, і ті, хто вибирають правильне значення за методом здогадки. Друге припущення — до складу членів комісії, які не здатні відрізнити смакові властивості продукту належать люди, які вгадують правильно, і ті, хто дає неправильну відповідь. Таким чином, загальна кількість правильних суджень є адитивною величиною відповідей людей, які бачать різницю і правильно відповідають, і тих, хто правильно здогадується.

Вказаний вище статистичний аналіз різних методів оцінки органолептики продукції не характеризує кожного члена дегустаційної комісії індивідуально, а описує загальну концепцію формування результатів досліджень такого типу. При цьому розраховується найбільш імовірна частка людей, які здатні встановити різницю в смакових властивостях зрізів продукції, таким чином, відповідають правильно, а не тих, хто випадково відповідає правильно. Статистична оцінка органолептичних досліджень з врахуванням вказаних вище припущень дозволяє прийняти на їх основі виважене бізнес-рішення, яке матиме значний економічний ефект для підприємства.

Література:

1. Болотніков А. О. Стандартизація та сертифікація товарів і послуг : навч. посіб. К. : МАУП, 2005. 144 с.
2. Молоко — сировини коров'яче. Технічні умови: ДСТУ Молокосировина коров'яче. Технічні умови: ДСТУ 3662:2018. [Чинний від 2017-01-01]. К.: ДП "УкрНДНЦ", 2016. 16 с.
3. Куць В. Р., Столярчук П. Г., Друзюк В. М. Кваліметрія : навч. посіб. Львів. 2012. 256 с.
4. Ціж Б. Р., Байцар Р. І. Основи кваліметрії. Львів : ФОП Корпан Б. І. 2008. 110 с.
5. Циба В. Кваліметрія — теорія вимірювання в гуманітарних і природничих науках. Соціальна психологія. 2005. № 4. С. 3—20.
6. Amerine M. A., Roessler E. B. Wines: Their sensory evaluation. Second Edition. San Francisco, CA. : W.H. Freeman & Co, 1976. 432 p.
7. Amoore J. Directions for preparing aqueous solutions of primary odorants to diagnose eight types of specific anosmias. Chemical Senses and Flavour. 1979. Vol. 4. P. 153—161.

8. Antinone M. A., Lawless H. T., Ledford R. A., Johnston M. The importance of diacetyl as a flavor component in full fat cottage cheese. Journal of Food Science. 1994. Vol. 59. P. 38—42.

9. Basker D. Polygonal and polyhedral taste testing. Journal of Food Quality. 1980. Vol. 3. P. 1—10.

10. Ennis D. M. The power of sensory discrimination methods. Journal of Sensory Studies. 1993. Vol. 8. P. 353—370.

11. Frijters J. E. R., Kooistra A., Vereijken P. F. G. Tables of d' for the triangular method and the 3-AFC signal detection procedure. Perception and Psychophysics. 1980. Vol. 27. P. 176—178.

12. Lawless H. T. A comparison of different methods used to assess sensitivity to the taste of phenylthiocarbamide (PTC). Chemical Senses. 1980. Vol. 5. P. 247—256.

13. Macrae A. W. Confidence intervals for the triangle test can give reassurance that products are similar. Food Quality and Preference. 1995. Vol. 6. P. 61—67.

14. Meilgaard M., Civille C. V., Carr B. T. Sensory Evaluation Techniques, Fourth Edition. FL : CRC, Boca Raton. 2006. 464 p.

15. Roessler E. B., Pangborn R. M., Sidel J. L., Stone H. Expanded statistical tables for estimating significance in paired-preference, paired difference, duo-trio and triangle tests. Journal of Food Science. 1978. Vol. 43. P. 940—941.

16. Rousseau B., Rogeaux M. O'Mahony M. Mustard discrimination by same-different and triangle tests: aspects of irritation, memory and tau criteria. Food Quality and Preference. 1999. Vol. 10. P. 173—184.

17. Schlich P. Risk tables for discrimination tests. Food Quality and Preference. 1993. Vol. 4. P. 141—151.

18. Stone H., Sidel J. L. Computing exact probabilities in sensory discrimination tests. Journal of Food Science. 1978. Vol. 43. P. 1028—1029.

19. Stone H., Sidel J. L. Sensory Evaluation Practices, Third Edition. New York : Elsevier. 2004. 374 p.

20. Whiting R., Murray S., Ciantic Z., Ellison K. The use of sensory difference tests to investigate perceptible colour-difference in a cosmetic product. Color Research and Application. 2004. Vol. 29. P. 299—304.

References:

1. Bolotnikov, A.O. (2005), Standartyzatsiia ta sertyfikatsiia tovariv i posluh [Standardization and certification of goods and services], MAUP, Kyiv, Ukraine.

2. UkrNDNTs (2016), Moloko — syrovyny korov'iache. Tekhnichni umovy: DSTU Molokosyrovyna korov'iache. Tekhnichni umovy: DSTU 3662:2018. Chynnyj vid 2017-01-01 [Milk — cow raw material. Technical conditions: DSTU Dairy cow's milk. Specifications: DSTU 3662:2018 from 2017-01-01], DP "UkrNDNTs", Kyiv, Ukraine.

3. Kuts', V. R., Stoliarchuk, P. H., and Druziuk V. M. (2012), Kvalimetriia [Qualimetry], Lviv, Ukraine.

4. Tsizh, B. R., and Bajtsar, R. I. (2008), Osnovy kvalimetrii [Fundamentals of qualimetry], FOP Korpan B. I., Lviv, Ukraine.

5. Tsyba, V. (2005), "Qualimetry — the theory of measurement in humanities and natural sciences", Sotsial'na psykholohiia, vol. 4, pp. 3—20.

6. Amerine, M. A., and Roessler, E. B. (1976), Wines: Their sensory evaluation, Second Edition, W.H. Freeman & Co, San Francisco, CA, USA.

7. Amoore, J. (1979), "Directions for preparing aqueous solutions of primary odorants to diagnose eight types of specific anosmias", Chemical Senses and Flavour, vol. 4, pp. 153—161.

8. Antinone, M. A., Lawless, H. T., Ledford, R. A., and Johnston, M. "The importance of diacetyl as a flavor component in full fat cottage cheese", Journal of Food Science, vol. 59, pp. 38—42.

9. Basker, D. (1980), "Polygonal and polyhedral taste testing", Journal of Food Quality, vol. 3, pp. 1—10.

10. Ennis, D. M. (1993), "The power of sensory discrimination methods", Journal of Sensory Studies. vol. 8, pp. 353—370.

11. Frijters, J. E. R., Kooistra, A., and Vreijken, P. F. G. (1980), "Tables of d' for the triangular method and the 3-AFC signal detection procedure", Perception and Psychophysics, vol. 27, pp. 176—178.

12. Lawless, H. T. (1980), "A comparison of different methods used to assess sensitivity to the taste of phenylthiocarbamide (PTC)", Chemical Senses, vol. 5, pp. 247—256.

13. Macrae, A. W. (1995), "Confidence intervals for the triangle test can give reassurance that products are similar", Food Quality and Preference, vol. 6, pp. 61—67.

14. Meilgaard, M., Civille, C. V., and Carr, B. T. (2006), Sensory Evaluation Techniques, Fourth Edition, CRC, Boca Raton, FL, USA.

15. Roessler, E. B., Pangborn, R. M., Sidel, J. L., and Stone, H. (1978), "Expanded statistical tables for estimating significance in paired-preference, paired difference, duo-trio and triangle tests", Journal of Food Science, vol. 43, pp. 940—941.

16. Rousseau, B., Rogeaux, M. and O'Mahony, M. (1999), "Mustard discrimination by same-different and triangle tests: aspects of irritation, memory and tau criteria", Food Quality and Preference, vol. 10, pp. 173—184.

17. Schlich, P. (1993), "Risk tables for discrimination tests", Food Quality and Preference, vol. 4, pp. 141—151.

18. Stone, H., and Sidel, J. L. (1978), "Computing exact probabilities in sensory discrimination tests", Journal of Food Science, vol. 43, pp. 1028—1029.

19. Stone H., and Sidel J. L. (2004), Sensory Evaluation Practices, Third Edition, Elsevier, New York, USA.

20. Whiting, R., Murray, S., Ciantic, Z., and Allison, K. (2004), "The use of sensory difference tests to investigate perceptible colour-difference in a cosmetic product", Color Research and Application, vol. 29, pp. 299—304.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2023 р.

Журнал включено до переліку наукових фахових видань України (Категорія «Б») з

ЕКОНОМІЧНИХ НАУК та ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ

(Наказ Міністерства освіти і науки України
№ 886 від 02.07.2020)

Спеціальності - 051, 071, 072, 073, 075, 076, 281, 292