

УДК 637.1 068:543.5-043.89

## MODERN METHODS OF DETERMINING THE ADULTERATION OF MILK

**V. Ischenko, N. Kvitkovska, E. Kostenko, O. Kochubei-Lytvynenko***National University of Food Technologies***N. Ischenko***Taras Shevchenko National University of Kyiv*

---

**Key words:**

milk,  
adulteration,  
physical and chemical  
analysis

**Article history:**

Received 30.09.2022

Received in revised form  
26.10.2022

Accepted 03.11.2022

**Corresponding author:**

suxodolska@ukr.net

---

**ABSTRACT**

Milk is valuable for its special properties of protein, fat, vitamins, trace elements and should be included in the daily diet of a certain group of consumers. At the same time, products with a high nutritional value are the most vulnerable to falsification. The article analyzes the problem of falsification of food products and, in particular, milk. An overview of the main types of milk falsification and the reasons that lead to it was carried out. Most often, milk adulteration is carried out by adding preservatives, diluting milk with water followed by adding substances with a high nitrogen content to compensate for the level of protein content, replacing milk fat with fat of vegetable origin, adding natural or dry whey to some dairy products, replacing one type of milk with another, in particular, reconstituted natural milk. The article notes that the issue of detecting adulteration of milk is extremely difficult, since the composition of milk is influenced by many factors: area and breed of livestock, climate and seasons, individual differences between animals, stages of lactation, technological processes, etc. National food safety standards were reviewed and modern physico-chemical methods for detecting milk adulteration were analyzed, in particular, targeted ones, such as high-performance liquid chromatography and gas chromatography, isotope ratio mass spectrometry, enzyme immunoassay, nuclear magnetic resonance, and the polymerase chain reaction method. Characterized non-targeted screening methods for detecting milk adulteration: methods of molecular absorption and emission spectroscopy, such as near-IR spectroscopy, which, in combination with chemometric processing of the obtained data, can reliably establish milk adulteration. The need for the development of fast, inexpensive and effective analytical methods for detecting falsification and authenticity of milk is noted.

---

DOI: 10.24263/2225-2916-2022-31-32-6

---

## СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ФАЛЬСИФІКАЦІЇ МОЛОКА

**В. М. Іщенко, канд. хім. наук,**  
**Н. П. Квітковська,**  
**Є. Є. Костенко, д-р хім. наук,**  
**О. В. Кочубей-Литвиненко, д-р тех. наук,**  
*Національний університет харчових технологій*  
**М. В. Іщенко, канд. хім. наук,**  
*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

*У статті охарактеризовано способи фальсифікації молока, зокрема ті, які є найскладнішими для детектування. Розглянуто сучасні цільові фізико-хімічні методи виявлення фальсифікації молока, такі як вискоэффективна рідинна хроматографія та газова хроматографія, масова спектрометрія із співвідношенням ізотопів, імуноферментний аналіз, ядерний магнітний резонанс і метод полімеразної реакції. Описано нецільові скринінгові методи: методи молекулярної абсорбційної та емісійної спектроскопії, спектроскопія ближньої ІЧ-області. Проведений аналітичний огляд розглянутих методів показав, що критеріями вибору того чи іншого методу повинна бути його придатність для досягнення поставленої мети, універсальність і чутливість аналізу, а також економічна доцільність використання. **Ключові слова:** молоко, фальсифікація, фізико-хімічний аналіз.*

**Постановка проблеми.** Молоко в його натуральному вигляді має високу поживну цінність, оскільки воно є чудовим джерелом якісних білків, жирів, вуглеводів, вітамінів і мінералів [1]. Згідно з науково обґрунтованими нормами молоко та молочні продукти повинні складати третю частину в харчовому раціоні людини, тому надзвичайно важливо забезпечувати їх якість. Фальсифіковане молоко не тільки має неповноцінну харчову якість, але й може завдати економічних втрат споживачеві, бути небезпечним для його здоров'я [2—4]. Контроль якості та безпечності молока на молокозаводах України за державними стандартами (ДСТУ) проводиться з використанням фізичних (вимірювання густини, жиру, вмісту вологи та сухого залишку, термостійкості), хімічних (визначення вмісту нітрогену, пероксидази, титрованої кислотності та деяких інших речовин) та фізико-хімічних методів (вміст білка, фосфору, лактози тощо). Одержані дані дають змогу визначати склад молока, але питання виявлення фальсифікації молока є надзвичайно складним, адже на його склад впливають дуже багато чинників: ареал худоби, клімат і пори року, індивідуальні відмінності між тваринами, стадії лактації, ступінь термічної обробки молока тощо [5]. Крім того, за стандартними методиками, які використовують у лабораторії, не можна, наприклад, гарантовано відрізнити відновлене молоко від натурального чи знайти у свіжому молоці добавку сухого [6]. Невирішеним залишається також питання визначення автентичності молока, зокрема з якої країни продукт, які корми одержувала худоба та чи дійсно заявлений продукт є екологічно чистим [7]. Слід зазначити, що в українських наукових публікаціях практично відсутні системні дослідження цієї проблеми і відповідні експериментальні роботи, тому огляд сучасних аналітичних методів виявлення фальсифікації молока є актуальною проблемою.

**Мета дослідження:** провести аналітичний огляд сучасних методів виявлення різних способів фальсифікації молока, порівняти їхні характеристики та обрати максимально придатні й універсальні аналітичні процедури.

**Матеріали і методи.** Розглянуто способи фальсифікації молока, а також літературні джерела, у яких описані методи виявлення фальсифікації. Проведено аналіз, обробку й узагальнення наукової інформації з теми дослідження.

**Результати дослідження.** Проблема фальсифікації харчової продукції досить гостро стоїть для українського ринку. При цьому головні позиції в антирейтингу підрбок традиційно займають молоко та молочні продукти [2].

Фальсифікація молока-сировини, що виробляється в господарствах населення, може здійснюватися безпосередньо селянами, а також заготівельниками, які збирають і доставляють його на молокопереробні підприємства. Це відбувається через складність забезпечення належного контролю за виробництвом молока в приватному секторі. Водночас, з метою одержання неправомірних прибутків, сфальсифікованим може бути молоко, що виробляється на підприємствах молочної промисловості, зокрема на невеликих молокозаводах. Непоодинокими для світової практики є випадки використання відновленого молока з подальшим його просуванням як натурального [4]. Також зустрічаються часті випадки підміни одного виду молока іншим, наприклад, більш дорогого козиного молока чи органічного молока на звичайне коров'яче; підміна незбираного молока нормалізованим або навіть знежиреним і заміна молочного жиру жиром рослинного походження. До різновидів якісної фальсифікації молока відноситься: розведення водою; змішування молока з сироваткою молочною; додавання консервантів (таких як формальдегід, бензойна кислота, пероксид гідрогену тощо); додавання багатих нітрогенречовин для компенсації рівня білка; розкислення молока з підвищеною кислотністю (додавання соди, амоніаку, вапна, крейди, розчину натрій гідроксиду та інших розкислювачів), додавання крохмалю, борошна для збільшення ваги, а також антибіотиків [8]. В останні роки з'явилась інформація, що деякі нечесні індивідуальні сільгосптоваровиробники України додають у молоко навіть миючі засоби (поверхнево-активні речовини) [9]. Це унеможливує одержання з такої «сировини» кисломолочних продуктів і сирів, а про її безпечність навіть не йдеться.

Загалом, для виявлення фальсифікатів харчових продуктів використовують два класи методів — цільові, такі як високоефективна рідинна хроматографія (ВЕРХ) та ВЕРХ з мас-спектрометрією (ВЕРХ-МС), газова хроматографія (ГХ) і, відповідно (ГХ-МС), масова спектрометрія із співвідношенням ізотопів (IRMS), імуноферментний аналіз (ІФА), ядерний магнітний резонанс (ЯМР) та деякі інші методи, про які буде згадано далі, і нецільові, або ж скринінгові методи. Цільові методи переважно застосовують для пошуку конкретних маркерів фальсифікації молочної продукції (жирнокислотний склад, фуразин, триптофан, вода, нітрогенвмісні добавки, амінокислоти, вітаміни, антибіотики тощо), які в поєднанні з хемометричними способами обробки даних [10] можуть бути використані для швидкого пошуку нетипових, підозрілих зразків. Нецільові методи переважно ґрунтуються на методах молекулярної спектроскопії, де вклад у сигнал робить велика кількість сполук, при цьому фіксуються загальні спектральні відмінності між зразками. До нецільових методів можна віднести і органолептичний аналіз.

Високоефективна рідинна хроматографія є одним з аналітичних методів, які використовуються для розділення, ідентифікації та кількісного визначення компонентів у суміші. Компоненти можуть бути розділені шляхом подачі зразка в потік рухомої фази, які проходять через колонку. Різні компоненти проходять через колонку за різний час і взаємодіють із сорбентом (стаціонарна фаза). Залежно від типу фази,

компоненти можуть бути розділені на основі їхньої хімічної природи. За допомогою рідинної хроматографії з тандемною мас-спектрометрією (ВЕРХ-МС-МС) можна визначати мікрокількості нітрогеновмісних сполук, амінокислот, вітамінів [11]. Автори [12] запропонували використовувати метод ВЕРХ для виявлення добавок соєвого, горохового, рисового білка та білка пшениці в молоці. В іншому дослідженні [13] Мотта та співавтори з використанням методу ВЕРХ розробили методики виявлення розбавлення молока сироваткою. В праці [14] з використанням методу ВЕРХ розроблена методика визначення фуросину, який є одним із показників реакції Маяра для виявлення добавок сухого молока, що, на думку авторів, дало змогу встановити фальсифікацію комерційних зразків молока його відновленням аналогом. Методом ВЕРХ з діодо-матричним детектором можна також визначати антибіотики в молоці [15].

Таким чином, метод вискоефективної рідинної хроматографії є надійним методом виявлення можливої фальсифікації молока, проте недоліком цього підходу є складна пробопідготовка зразків і необхідність використання великої кількості стандартів.

Газову хроматографію застосовують для визначення летких компонентів молока — жирів і жирних кислот. Застосування саме методу ГХ дає змогу виявити такий вид шахрайства, як підміну органічного молока звичайним коров'ячим. Колломб із співавторами [16], використовуючи метод газової хроматографії з полум'яно-іонізаційним детектором (GC-FID), встановили, що кількісно вміст насичених жирних кислот органічного і звичайного молока істотно не відрізняються. Проте органічні зразки молока мали значно вищий вміст поліненасичених жирних кислот, ліноленової кислоти і розгалужених жирних кислот, що може бути маркером на підміну молока, заявленого як органічне, звичайним молоком.

Також вміст ненасичених жирних кислот і довголанцюгових жирних кислот ( $C>18$ ), визначених методом ГХ, може бути використаний як один із маркерів для розрізнення проб молока залежно від країни походження [17]. Газову хроматографію можна успішно використовувати і для визначення чистоти молочного жиру [18].

Ще один метод, який дає змогу визначати екологічне та географічне походження молока, є мас-спектрометрія співвідношення стабільних ізотопів (IRMS). Дані щодо розподілу стабільних ізотопів карбону, нітрогену, гідрогену, кисню та сульфуру широко застосовуються в США, європейських країнах для завдань, пов'язаних із виявленням фальсифікації продуктів харчування і сировини та їх справжнього регіону походження [19]. Відомо, що ізотопний склад карбону молока (сухий залишок) найбільше відображає дієту тварини. Це означає, якщо взимку корова отримує корм у стійлі, а влітку — на випасі, то ізотопний склад карбону «літнього» та «зимового» молока відрізнятиметься. Якщо молоко, вироблене взимку, має ізотопний склад карбону, притаманний «літньому» молоку, то, ймовірно, воно відновлене із сухого. Проте метод IRMS є одним із найдорожчих аналітичних методів аналізу. Крім того, потрібна велика база даних зразків, щоб їх правильно класифікувати.

Метод імуноферментного аналізу (ІФА, ELISA) дає змогу виявити як різні фракції білків молока або сироватки, так і кількісно та якісно певний цільовий білок (антиген). Використання методу імуноферментного аналізу для виявлення фальсифікації молока представлено в огляді [20].

Одним із найпотужніших і універсальних аналітичних методів, який наразі застосовується для визначення фальсифікації продуктів харчування, є спектроскопія

ядерного магнітного резонансу (ЯМР). В огляді [10] представлена інформація щодо використання ЯМР для ідентифікації та визначення автентичності молока та молочних продуктів. Зокрема, відмічається, що використання ЯМР у поєднанні з хемометричною обробкою даних дало змогу ідентифікувати 39 зразків молока, вироблених у двох сусідніх регіонах Італії, а також в деяких країнах, розташованих у Центрально-Східній Європі. Одержані результати показали, що піки деяких органічних кислот, цукрів і амінокислот можуть бути використані для розрізнення досліджуваних зразків молока з 90% точністю. Також метод ЯМР може бути використаний як експрес-метод для розрізнення свіжовидоєного молока та того, що вже якийсь час зберігалось. Проте, незважаючи на зростаючу популярність серед науковців у галузі харчової науки, спектроскопія ЯМР поки що залишається недостатньо використаною методологією в цій галузі, головним чином через її високу вартість, відносно низьку чутливість та відсутність досвіду роботи з ЯМР у фахівців, які займаються аналізом харчових продуктів.

До цільових методів визначення фальсифікації харчових продуктів відноситься і метод полімеразної ланцюгової реакції (Real-time PCR, qPCR), який дає змогу визначати не тільки присутність цільової нуклеотидної послідовності у зразку, а й вимірювати кількість її копій. У недавньому дослідженні [21] кількісне визначення ДНК видоспецифічного праймера дало змогу ідентифікувати молоко корів, овець і кіз.

Відносно простими і недорогими способами визначення фальсифікації є методи молекулярної абсорбційної та емісійної спектроскопії, а також спектроскопія ближньої ІЧ-області.

ІЧ спектроскопію досить часто застосовують для дослідження фізико-хімічних, функціональних і сенсорних характеристик молочних продуктів, наприклад, у праці [22] розробили метод контролю розмірів колоїдних часток молока для поліпшення виробничих процесів та якості продукту, де за допомогою ультразвукової гомогенізації сирого молока була досліджена варіабельність розподілу розмірів жирових глобул за рахунок розсіювання молока у видимій ділянці спектра та ближній ІЧ. За допомогою спектральних даних з ближньої ІЧ області та їх обробки різними хемометричними методами можна з достатньою точністю кількісно визначати меламін у сухому молоці [23]. У дослідженні [24] проведено калібрування та валідацію компактного обладнання (MilkoScan FT1), яке використовує метод інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є для моніторингу фальсифікацій сирого молока. Майже 2500 зразків молока було використано для побудови еталонного спектра та 1650 зразків — для валідації моделі та виявлення таких заборонених домішок у молоці, як кукурудзяний крохмаль, натрій гідрогенкарбонат, натрій цитрат, формальдегід і сахароза.

Проте поряд із перевагами метод ІЧ-спектроскопії має і деякі недоліки: низька чутливість і низька структурна селективність спектрів ближній ІЧ-області, наявність декількох сигналів, які перекриваються, що ускладнює інтерпретацію спектрів.

Метод молекулярної абсорбційної спектроскопії в ультрафіолетовому та видимому діапазонах (UV–VIS) був використаний для визначення ступеня термічної обробки молока, що описано в [25], де кількісно визначали в зразках ультрапастеризованого молока вміст такого маркера на високотемпературну обробку, як лактулоза, з використанням капілярного зонного електрофорезу для відокремлення від великих концентрацій лактози. Цей метод застосовується для якісного і кількісного

аналізу багатьох груп хімічних сполук, що містять хромофори [26; 27]. Цікавим виявився метод четвертих похідних спектрів поглинання, що був застосований для визначення асортиментної фальсифікації ультрапастеризованого молока сироваткою [28]. Метод полягав у визначенні співвідношення білка до загального казеїну, яке змінюється під час термічної обробки молока.

Наразі все більшої популярності набуває метод молекулярної емісійної спектроскопії (флуоресцентна спектроскопія). Флуоресцентні методи дослідження більш чутливі, ніж абсорбційна спектроскопія. Також спектри флуоресценції більш специфічні, ніж спектри інших спектроскопічних методів, оскільки флуоресцентні сполуки дуже чутливі до оточення (матриці). Для надійної реєстрації параметрів флуоресценції достатня набагато менша кількість речовини, що актуально для визначення багатьох маркерів у молоці і взагалі в харчових продуктах. Флуоресценція може бути використана для характеристики конформаційних змін, що відбуваються в різних умовах виробництва молочної продукції [29]. Метод базується на визначенні амінокислот, які зазнають змін під час термічної обробки молока, зокрема триптофану, та виявленні речовин, що утворюються в результаті реакції Маяра.

У [30] для оцінки ступеня термічної обробки молока запропоновано використовувати флуоресценцію продуктів реакції Маяра і розчинного триптофану (FAST). Індекс FAST являє собою відношення інтенсивності флуоресценції продуктів реакції Маяра до інтенсивності флуоресценції триптофану в молочній фракції при рН 4,6 після осадження білка.

В дослідженні [31] висловлене припущення, що за індексом FAST можна виявити до 5% відновленого молока у свіжому молоці. Проте в інших дослідженнях, де використовувалися модельні системи, було встановлено, що на вихід флуоресценції продуктів реакції Маяра впливає не тільки ступінь термічного оброблення, але й інші параметри, зокрема, рН та сольовий склад [32]. Проведені дослідження [8] показали, що виміряні значення флуоресценції триптофану, продуктів реакції Маяра і розрахований індекс FAST можуть бути маркером тільки на натуральне незбиране молоко. Для виявлення відновленого молока або можливої фальсифікації пастеризованого молока відновленим молоком необхідно долучати додаткові дослідження. Такий же висновок роблять і автори праці [33], які вважають, що жоден флуоресцентний індикатор не може бути універсальним для виявлення ступеня термічної обробки молока, якщо він не пов'язаний з іншими маркерами.

Слід зазначити, що особливістю переважної більшості описаних методів є те, що досліднику досить часто доводиться мати справу з обробкою масиву багатомірних експериментальних даних, одержаних у результаті аналізу. При обробці таких даних неминучим стає застосування хемометричних методів, про що відмічалось у багатьох дослідженнях. Тому сучасна стратегія виявлення фальсифікації харчових продуктів полягає в тому, щоб використати хемометричні інструменти обробки одержаних даних для якісної і достовірної класифікації досліджуваних зразків [34].

**Висновки.** Виявлення можливих фальсифікатів у молоці є складним завданням, адже на існуючі маркери фальсифікації впливають біологічні, кліматичні, агрономічні фактори. Крім того, технологічна обробка молока може також кардинально змінити композицію маркерів фальсифікації. В останні роки основними методами аналізу молока стали хроматографічний аналіз, імуноферментний аналіз, мас-спектрометрія із співвідношенням ізотопів, ядерний магнітний резонанс та різні спектроскопічні методи. Проведений аналітичний огляд показав, що критеріями вибору

того чи іншого методу повинна бути придатність методу для досягнення поставленої мети, його універсальність і чутливість аналізу. Важливою складовою є також вартість дослідження, тому наразі завдання вітчизняних науковців і фахівців галузі полягає в тому, щоб розробити прості та економічно обґрунтовані методи виявлення фальсифікації молока, які можуть бути використані з високим ступенем достовірності.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Park, Young W. Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health / Young W. Park, George F. W. Haenlein // John Wiley & Sons Ltd. 2013. 700 p.
2. Чесна розмова про молочний фальсифікат: в чому небезпека та як запобігти? Режим доступу: <https://agravery.com/uk/posts/show/cesna-rozmova-pro-molocnij-falsifikat-v-comu-nebezpeka-ta-ak-zapobigti>.
3. Сичов, М. І. Питання якості, натуральності і токсикології молочних продуктів / М. І. Сичов // Харчова наука і технологія. 2015. Т. 9, №4. С.62—67.
4. Handford, Caroline E. Impacts of Milk Fraud on Food Safety and Nutrition with Special Emphasis on Developing Countries. / Caroline E. Handford, Katrina Campbell, Christopher T. Elliott Comprehensive // Reviews in Food Science and Food Safety. 2016. Vol. 15, Is. P. 130—142.
5. Chandan, Ramesh C. Dairy Processing and Quality Assurance. / Ramesh C. Chandan, Arun Kilaa, Nagendra P. Shah. // John Wiley & Sons. Second Edition. 2015. 696 p.
6. Іщенко, В. М. Використання флуоресцентної спектроскопії та ультразвукового аналізу для ідентифікації молочної продукції / В. М. Іщенко, Н. П. Квітковська, О. В. Кочубей-Литвиненко та ін. // Methods Objects Chem. Anal. 2018. 13 (3). P. 131—135.
7. Danezis, Georgios P. Food authentication: Techniques, trends & emerging approaches / Georgios P. Danezis, Aristidis S. Tsagkaris, Federica Camin [at al]. Trends in Analytical Chemistry. 2016. Vol. 85. Part A. P. 123—132.
8. Nascimento, Carina F. Recent advances on determination of milk adulterants. / Carina F. Nascimento, Poliana M. Santos, Edenir Rodrigues Pereira-Filho [at al] // Food Chemistry. 2016. № 221. P. 1232—1244.
9. Миючі засоби в молоці: підробку на смак не відрізнити. Режим доступу: <http://novosti.kr.ua/2021/06/myuchi-zasoby-v-moloci-pidrobku-na-smak-ne-vidriznyty/>.
10. Kamal, M. Analytical methods coupled with chemometric tools for determining the authenticity and detecting the adulteration of dairy products: A review / M. Kamal, R. Karoui // Trends in Food Science & Technology. 2015. Vol. 46. P. 27—48.
11. Abernethy, Grant. Rapid detection of economic adulterants in fresh milk by liquid chromatography-tandem mass spectrometry / Grant Abernethy, Kerianne Higgs // Journal of Chromatography. 2013. A1288 P. 10—20.
12. Jablonski, J. E. Nontargeted detection of adulteration of skim milk powder with foreign proteins using UHPLC-UV / J. E. Jablonski, J. C. Moore, J. M. Harnly // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2014. 62. P. 5198—5206.
13. Motta, T. M. C. Detection and confirmation of milk adulteration with cheese whey using proteomic-like sample preparation and liquid chromatography-electrospray-tandem mass spectrometry analysis / T. M. C. Motta, R. B. Hoff, F. Barreto [at al] // Talanta. 2014. Vol. 120. P. 498—505.
14. Renterghem, Roland Van. Furosine in Consumption Milk and Milk Powders / Roland Van Renterghem, Jan De Block // Elsevier. 1996. Vol. 6. P. 371—382.
15. Kumar, Atul. Determination of antibiotic residues in bovine milk by HPLC-DAD and assessment of human health risks in Northwestern Himalayan region, India. / Atul Kumar, Ashok Kumar Panda, Neelam Sharma // Journal of Food Science and Technology. 2022. Vol. 59. P. 95—104.
16. Collomb, M. Fatty acid composition of mountain milk from Switzerland: Comparison of organic and integrated farming systems. / M. Collomb, W. Bisig, U. Bütikofer [at al] // International Dairy Journal. 2008. Vol. 18. P. 976—982.
17. Gaspardo, B. Use of milk fatty acids composition to discriminate area of origin of bulk milk. / B. Gaspardo, A. Lavrencic, A. Levart [at al] // Journal of Dairy Science. 2010. Vol. 93. P. 3417—3426.

18. ISO 17678:2010 (IDF 202:2010) Milk and milk products. — Determination of milk fat purity by gas chromatographic analysis of triglycerides (Reference method).
19. Bostic, Joshua N. Carbon and nitrogen stable isotopes in U. S. milk: Insight into production process. / Joshua N. Bostic, William M. Hagopian, A. Hope Jahren // *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2018. Vol. 32, Is. 7. P. 561—566.
20. Poonia, Amrita. Detection of adulteration in milk: A review. / Amrita Poonia, Alok Jha, Rajan Sharma [at al] // *International Journal of Dairy Technology*. 2017. Vol. 70, No 1. P. 23—42.
21. Giglioti, Rodrigo. Detection and quantification of adulteration in milk and dairy products: A novel and sensitive qPCR-based method. / Rodrigo Giglioti, Hiago Polli, Bianca Taina Azevedo [at al] // *Food Chemistry: Molecular Sciences*. 2022. Vol. 4. 30 July.
22. Aernouts, Ben. Effect of ultrasonic homogenization on the Vis/NIR bulk optical properties of milk / Ben Aernouts, Robbe Van Beers, Rodrigo Watté, Tjebbe Huybrechts // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2015 Vol. 126. P. 510—519.
23. Huang, Yue. Distribution assessment and quantification of counterfeit melamine in powdered milk by NIR imaging methods / Yue Huang, Kuangda Tian, Shungeng Min // *Food Chemistry*. 2015 Vol. 177. P. 174—181.
24. Barbosa, Coitinho Tatiane. Adulteration identification in raw milk using Fourier transform infrared spectroscopy // Tatiane Barbosa Coitinho, Laerte Dagher Cassoli, Pedro Henrique Ramos Cerqueira [at al] // *Journal of Food Science and Technology*. 2017. Vol. 54(8). P. 2394—2402.
25. De Oliveira Neves Leandra Natália. Lactulose determination in UHT milk by CZE-UV with indirect detection / Leandra Natália de Oliveira Neves, Rafael Marques, Paulo Henrique Fonseca da Silva [at al] // *Food Chemistry*. 2018 Vol. 258. P. 337—342.
26. Kus, S. Derivative UV-vis spectroscopy in analytical chemistry / S. Kus, Z. Marczenko, N. Obarski // *Chem. Anal.* 1996. № 41. P. 899—927.
27. Karpińska, J. Derivative spectrophotometer — recent applications and directions of developments // *Talanta*. 2004. Vol. 64. P. 801—822.
28. Miralles, Beatriz. Determination of whey protein to total protein ratio in UHT milk using fourth derivative spectroscopy / Beatriz Miralles, Begona Bartolome, Mercedes Ramos // *International Dairy Journal*. 2000. Vol. 10. P. 191—197.
29. Shaikh, S. Applications of fluorescence spectroscopy in dairy processing: a review / S. Shaikh, C. O'Donnell // *Current Opinion in Food Science*. 2017. Vol. 17. P. 16—24.
30. Birlouez-Aragon, I. A rapid fluorimetric method to estimate the heat treatment of liquid milk // I. Birlouez-Aragon, M. Nicolas, A. Metais [at al] // *International Dairy Journal*. 1998. Vol. 8. P. 771—777.
31. Rong-fa, Guan. Use of fluorometry for determination of skim milk powder adulteration in fresh milk / G. Rong-fa, L. Dong-hong, Y. Xing-qian // *Journal of Zhejiang University Science*. 2005. Vol. 6B (11). P. 1101—1106.
32. Matiacevich, S. B. A critical evaluation of fluorescence as a potential marker for the Maillard reaction / S. B. Matiacevich, M. Pilar Buera // *Food Chemistry*. 2006. Vol. 95. P. 423—430.
33. Feinberg, M. Evaluation of tracers for the authentication of thermal treatments of milks / M. Feinberg, D. Dupont, T. Efstathiou [at al] // *Food Chemistry*. 2006. Vol. 98. P. 188—194.
34. Rodionova, O. Ye. Chemometric tools for food fraud detection: The role of target class in non-targeted analysis / O. Ye. Rodionova, A. L. Pomerantsev // *Food Chemistry*. 2020. Vol. 317. 126448.