

УДК 535.372:637.073

Сравнительная оценка спектральных люминесцентных характеристик молока и молочных продуктов

ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**Беляков Михаил Владимирович**

E-mail: bmw20100@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Беляков, М.В., & Никитин, Е.А. (2023). Сравнительная оценка спектральных люминесцентных характеристик молока и молочных продуктов, *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 90-102. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.412>

ПОСТУПИЛА: 04.05.2023**ПРИНЯТА:** 12.06.2023**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.07.2023**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:**

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



М. В. Беляков, Е. А. Никитин

АННОТАЦИЯ

Введение: Разработка аналитических методов контроля молока и молочных продуктов имеет важное значение для их хранения и переработки. Спектральный фотолюминесцентный метод контроля отличается высокой чувствительностью и селективностью, не требует химикатов в качестве расходного материала.

Цель: Исследование спектральных характеристик фотолюминесценции молока и молочных продуктов для последующего создания методик их контроля.

Материалы и методы: Измеряли спектральные люминесцентные характеристики и рассчитывали параметры молока, сметаны, творога и сливочного масла (Агрофирма «Катынь», Смоленская область) в диапазоне 200-600 нм по ранее разработанной методике с использованием дифракционного спектрофлуориметра «Флюорат-02-Панорама».

Результаты: Диапазон наибольшего возбуждения исследованных продуктов составил 220–340 нм. Основные максимумы возбуждения 231, 262, 271, 288, 308 и 322 нм. Для кисломолочных продуктов добавляется пик на 250 нм. Спектры фотолюминесценции и интегральные параметры молока при скисании практически не меняются. При этом для коротковолнового возбуждения (262 нм) как спектральные характеристики, так и интегральные потоки в два раза больше, чем для длинноволнового (442 нм). Сравнивая потоки фотолюминесценции сметаны и молока видно, что при коротковолновом возбуждении для сметаны они примерно в два раза ниже, а при длинноволновом – примерно одинаковы, что согласуется со спектрами возбуждения. Для творога при всех использованных длинах волн возбуждения спектры получились качественно одинаковыми, но по интегральному потоку наилучшим является возбуждение 288 нм. Предположительно, люминесценция больше при повышенном содержании белков и пониженном содержании жиров, что подтверждается исследованием фотолюминесценции сливочного масла.

Выводы: Для возбуждения молока и кисломолочных продуктов наиболее целесообразным является использование длин волн возбуждения 262 нм (молоко), 271 нм (сметана) и 288 нм (творог). Для сливочного масла следует выбирать более длинноволновое возбуждение – 308 нм. При этом фотолюминесцентное излучение следует измерять в диапазонах 290-400 нм для молока, сметаны и творога, а для масла – в диапазоне 340–450 нм. Полученные результаты могут быть применены для создания методик экспрессного контроля переработки и хранения молока и молочных продуктов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

молоко, творог, сметана, масло, спектр возбуждения, спектр фотолюминесценции, поток фотолюминесценции

Comparative Evaluation of Spectral Luminescent Characteristics of Milk and Dairy Products

FGBNU Federal Scientific
Agroengineering Center VIM, Moscow,
Russia

CORRESPONDENCE:

Mikhail V. Belyakov

Email: bmw20100@mail.ru

FOR CITATIONS:

Belyakov, M.V., & Nikitin, E.A. (2023). Comparative evaluation of spectral luminescent characteristics of milk and dairy products. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 90-102. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.412>

RECEIVED: 04.05.2023

ACCEPTED: 12.06.2023

PUBLISHED: 30.07.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Mikhail V. Belyakov, Evgeny A. Nikitin

ABSTRACT

Background: The development of analytical methods for the control of milk and dairy products is important for their storage and processing. The spectral photoluminescent control method is characterized by high sensitivity and selectivity, does not require chemicals as an expendable material.

Purpose: Investigation of spectral characteristics of photoluminescence of milk and dairy products for the subsequent creation of methods for their control.

Materials and Methods: Spectral luminescent characteristics were measured and parameters of milk, sour cream, cottage cheese and butter were calculated (Agrofirma "Katyn", Smolensk region) in the range of 200–600 nm according to a previously developed technique using a diffraction spectrofluorimeter "Fluorat-02-Panorama".

Results: The range of the greatest excitation of the studied products was 220–340 nm. The main excitation maxima are 231, 262, 271, 288, 308 and 322 nm. For fermented milk products, a peak of 250 nm is added. Photoluminescence spectra and integral parameters of milk practically do not change during souring. At the same time, for short-wave excitation (262 nm), both spectral characteristics and integral fluxes are twice as large as for long-wave excitation (442 nm). Comparing the photoluminescence fluxes of sour cream and milk, it can be seen that with short-wave excitation for sour cream, they are about two times lower, and with long-wave they are about the same, which is consistent with the excitation spectra. For cottage cheese, with all the excitation wavelengths used, the spectra turned out to be qualitatively the same, but according to the integral flow, the excitation of 288 nm is the best. Presumably, the luminescence is greater with an increased protein content and a reduced fat content, which is confirmed by the study of the photoluminescence of butter.

Conclusion: To excite milk and fermented milk products, it is most appropriate to use excitation wavelengths of 262 nm (milk), 271 nm (sour cream) and 288 nm (cottage cheese). For butter, you should choose a longer wavelength excitation – 308 nm. At the same time, photoluminescent radiation should be measured in the ranges of 290–400 nm for milk, sour cream and cottage cheese, and for butter – in the range of 340–450 nm. The results obtained can be applied to create express control methods for processing and storing milk and dairy products.

KEYWORDS

milk, cottage cheese, sour cream, butter, excitation spectrum, photoluminescence spectrum, photoluminescence flux

ВВЕДЕНИЕ

Такие пищевые продукты как молоко и его производные, играют важную роль в здоровом питании человека. Разработка аналитических методов, позволяющих быстро определять состав и качество обработки, проверять подлинность таких продуктов, имеет первостепенное значение. Традиционно для идентификации и анализа, методов производства, происхождения и обработки молока и молочных продуктов часто использовались химические, хроматографические (Рязанцева и др., 2022; Du et al., 2020; Zheng et al., 2022; Roy et al., 2022), молекулярные (Biçer & Sönmez, 2022) и другие методы (Oh et al., 2022; An et al., 2022; Ashoorirad et al., 2021; Мельденберг и др., 2020). Хотя эти общепринятые методы точны и надежны, они разрушительны, отнимают значительное время, не всегда дешевы и экологически безопасны и могут использоваться только в лабораторных условиях. Наоборот, в последние годы появились альтернативные методы, основанные на спектроскопии, которые стали инструментами для преодоления большинства ограничений, связанных с традиционными измерениями.

К таким спектральным методам относится, например, ядерно-магнитный резонанс, основанный на измерении профиля метаболитов. В исследовании (Li et al., 2017) он применялся для дифференциации типов молока и выявления его фальсификации. Этим же методом анализировали сицилийские сыры (Piacenza et al., 2022).

Метод отражательной ближней инфракрасной спектроскопии позволяет анализировать качество сухого молока (Khan et al., 2021), контролировать качество обработки молока (Vasafi et al., 2021), обнаруживать его фальсификации (Hosseini et al., 2021; Ghasemi et al., 2021; Ehsani et al., 2022) и географическое происхождение (Zhang et al., 2022), определять содержание белка (Wang et al., 2019; Panikuttira et al., 2020) и оценивать протеолиз (Ranvir et al., 2020). Также данный метод позволяет различать видовое происхождение и рецептуру сыров (Tararoulouzi et al., 2020; Tararoulouzi & Theocharis, 2021). С помощью инфракрасной спектроскопии средневолнового диапазона также определяли географическое происхождение молока (El Orche et al., 2021), его фальсификацию (Spina et al., 2022) и анализ казеина при коагуляции (Boukria et al., 2022).

Классическая абсорбционная спектроскопия видимого и инфракрасного диапазона (Stefanakis et al., 2022) применяется для исследования коагуляции цельного непастеризованного молока (Акулинин с соавт., 2016), измерения антиоксидантной активности при термообработке (Нилова и Камбулова, 2019) и обнаружения фальсификации меламинами (Liang et al., 2021).

Рамановская спектроскопия может быть успешно использована для различения образцов молока в соответствии с термической обработкой (сырое/пастеризованное) и их видов. Спектры комбинационного рассеяния дают ценную информацию, особенно для различения образцов молока по их происхождению (Yazgan et al., 2020; Batesttin et al., 2022). Кроме того, спектроскопия комбинационного рассеяния используется для контроля переработки молока (Vasafi et al., 2022) и поиска меламиновой фальсификации белка (Stevens et al., 2022; Hu & Lu, 2016). Рамановская спектроскопия с пространственным смещением позволяет быстро и просто получать спектры упакованных сыров без вскрытия упаковки (Arroyo-Cerezo et al., 2023) и их идентификации (Ostovar et al., 2021).

Гиперспектральная визуализация применялась для выявления одиночных и смешанных штаммов патогенов пищевого происхождения в цельном молоке и молочных продуктах: твороге и сырах чеддер (Unger et al., 2022). Изучена возможность применения методов сканирующей электронной микроскопии для идентификации подлинности сухого цельного и обезжиренного молока (Буданина и др., 2017).

В последнее время спектральные люминесцентные методы стали мощными аналитическими инструментами для разработки различных датчиков. В исследовании (Singh et al., 2022) разработан двухдлинноволновый люминесцентный датчик меламина. В работе (Panikuttira et al., 2020) был исследован прототип датчика для мониторинга сычужно-индуцированной коагуляции обезжиренного молока при различных концентрациях белка.

Вместе с тем, крайне мало информации о разработке и применении спектральных люминесцентных методов и современных приборов контроля таких молочных продуктов как сметана, сливочное масло, а также исследования процессов скисания моло-

ка с помощью фотолюминесценции. Данный метод отличается более простой аппаратной реализацией в отличие от ядерно-магнитного резонанса и комбинационного рассеяния, более распространенной и менее дорогостоящей элементной базой, в отличие от инфракрасных методов и не требует построения изображений в отличие от визуализирующих методов.

Целью данной работы является исследование спектральных характеристик фотолюминесценции молока и молочных продуктов для последующего создания методик их контроля. Задачами являются измерение спектральных характеристик возбуждения и испускания люминесценции для определения рабочих диапазонов спектров. Также произведен расчет интегральных параметров спектров для сопоставления люминесцентных свойств молока и молочных продуктов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Для измерений было взято питьевое пастеризованное молоко агрофирмы «Катынь» (Смоленская область) с массовой долей жира 3,2 %. В процессе трехдневного скисания молоко хранилось в темном помещении при комнатной температуре 20 °С. Были использованы молочные продукты того же производителя: сметана жирностью 20 %, творог жирностью 9 % и сливочное масло жирностью 82,5 %.

Оборудование

Измерения спектров возбуждения и люминесценции проводили на дифракционном спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» (производство фирмы «Люмэкс», Россия).

Инструменты

Все спектры были скорректированы на инструментальные искажения возбуждения с помощью встроенного в спектрофлуориметрический комплекс программного пакета «PanoramaPro». В нем были

проведены усреднения спектров и расчет их интегральных параметров.

Методы

Производили измерения спектральных характеристик возбуждения (поглощения) $\eta_e(\lambda)$ в диапазоне от 200–600 нм по методике, аналогичной (Dorokhov et al., 2023). Для измерения спектра люминесценции $\varphi_l(\lambda)$ монохроматор возбуждения устанавливали на ту же длину волны, на которой наблюдается максимум спектра возбуждения при синхронном сканировании. Монохроматор регистрации люминесценции сканирует более длинноволновую область.

Анализ данных

По полученным спектральным характеристикам определяли интегральную поглощательную способность H по формуле:

$$H = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \eta_e(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

$\eta_e(\lambda)$ — спектральная характеристика возбуждения; λ_1, λ_2 — границы спектрального диапазона возбуждения.

Интегральные параметры спектров $\varphi_l(\lambda)$, являющиеся потоками фотолюминесценции Φ , определяли по формуле:

$$\Phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_l(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

$\varphi_l(\lambda)$ — спектральная характеристика фотолюминесценции; λ_1, λ_2 — границы спектрального диапазона фотолюминесценции.

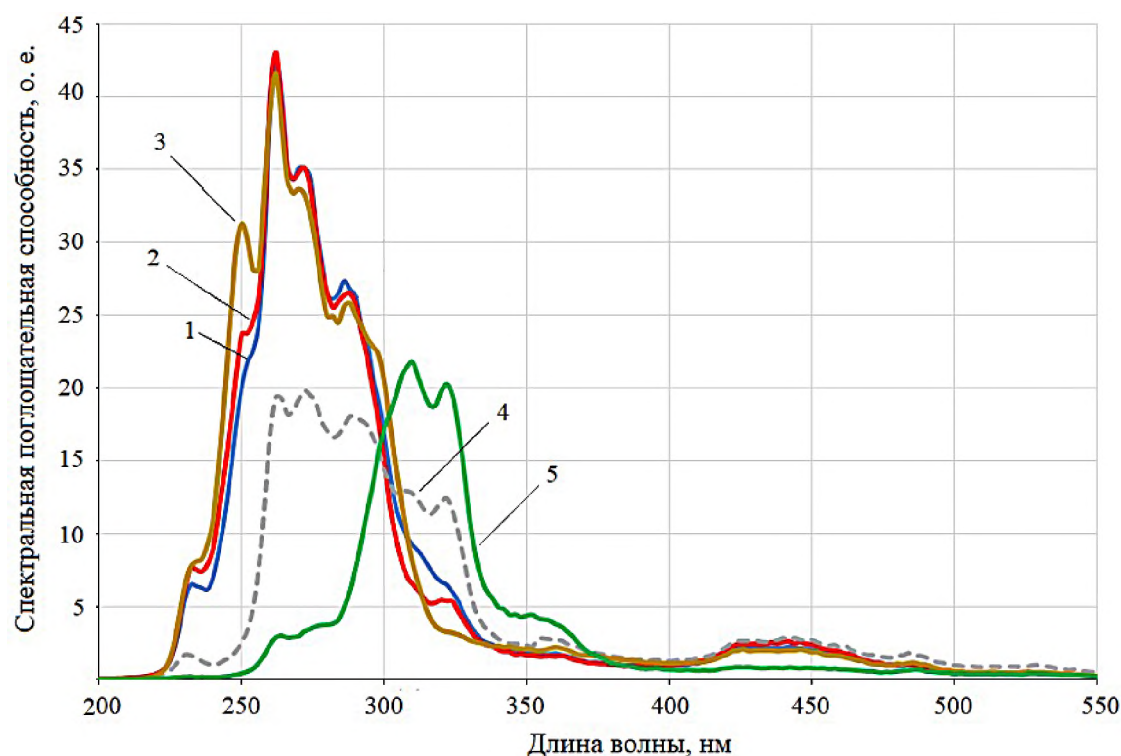
РЕЗУЛЬТАТЫ

Спектры возбуждения молока и молочных продуктов представлены на Рисунке 1.

Основной диапазон возбуждения для исследованного молока и молочных продуктов составляет 220–340 нм, в диапазоне 410–500 нм возбуждение существенно ниже. Основные максимумы (пики) возбуждения 231, 262, 271, 288, 308 и 322 нм. В про-

Рисунок 1

Спектры возбуждения молока и молочных продуктов



Примечание: 1 – молоко пастеризованное, 2 – молоко скисшее, 3 – творог, 4 – сметана, 5 – масло

цессе скисания у молока появляется незначительный пик на 250 нм, который заметно увеличивается у творога. Для сметаны и масла этого пика нет.

Рассчитанные по формуле (1) интегральные поглощательные способности η в различных спектральных диапазонах представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Интегральные поглощательные способности молока и молочных продуктов в различных спектральных диапазонах

Диапазон, нм	Молоко свежее	Молоко пастеризованное	Сметана	Творог	Масло
220–236	57	66	18	70	3
236–256	289	340	47	433	8
256–268	433	441	198	435	30
268–282	443	439	260	420	49
282–304	489	466	362	504	240
304–316	113	82	149	103	247
316–338	106	90	184	67	310
348–380	51	47	79	65	107
400–476	127	143	170	126	58
476–500	18	19	35	23	14
200–500	2162	2168	1551	2288	1122

Спектры фотолюминесценции молока представлены на Рисунке 2.

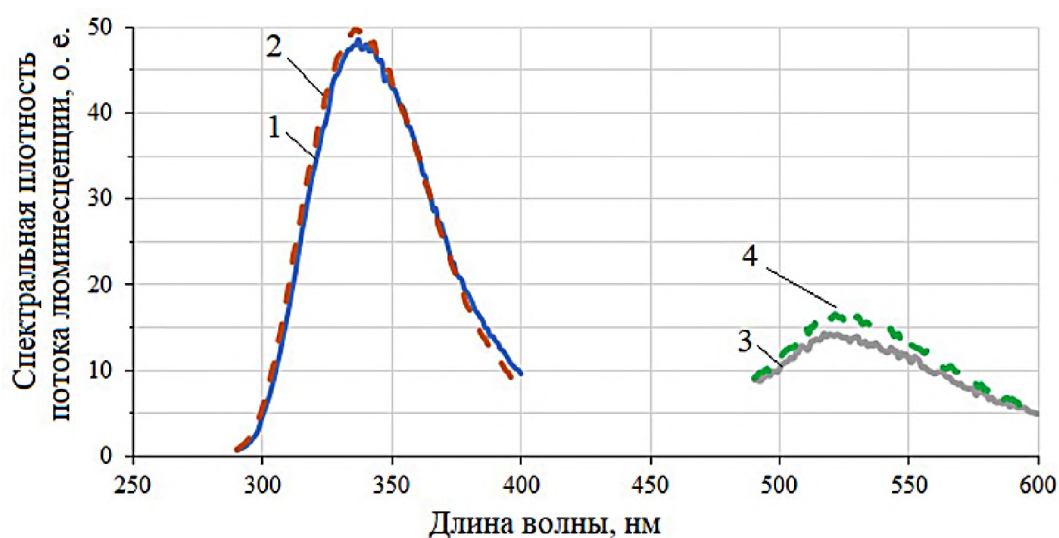
Спектры фотолюминесценции творога представлены на Рисунке 4.

Спектры фотолюминесценции сметаны представлены на Рисунке 3.

Спектры фотолюминесценции масла представлены на Рисунке 5.

Рисунок 2

Спектры фотолюминесценции молока



Примечание: исходного (1 и 3) и скисшего (2 и 4) при возбуждении излучением длины волны 262 нм (1 и 2) и 442 нм (3 и 4)

Рисунок 3

Спектры фотолюминесценции сметаны при возбуждении излучением длины волны $\lambda_{\text{в}} = 262$ нм (1), $\lambda_{\text{в}} = 271$ нм (2), $\lambda_{\text{в}} = 321$ нм (3) и $\lambda_{\text{в}} = 442$ нм (4)

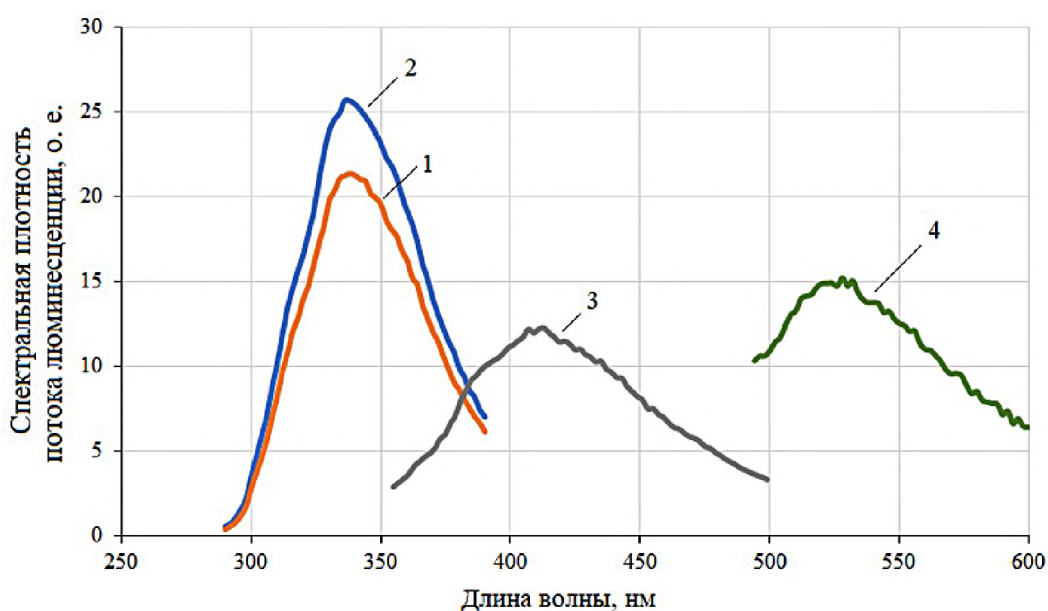


Рисунок 4

Спектры фотолюминесценции творога при возбуждении излучением длины волны $\lambda_{\text{в}} = 250$ нм (1), $\lambda_{\text{в}} = 262$ нм (2), $\lambda_{\text{в}} = 271$ нм (3) и $\lambda_{\text{в}} = 288$ нм (4)

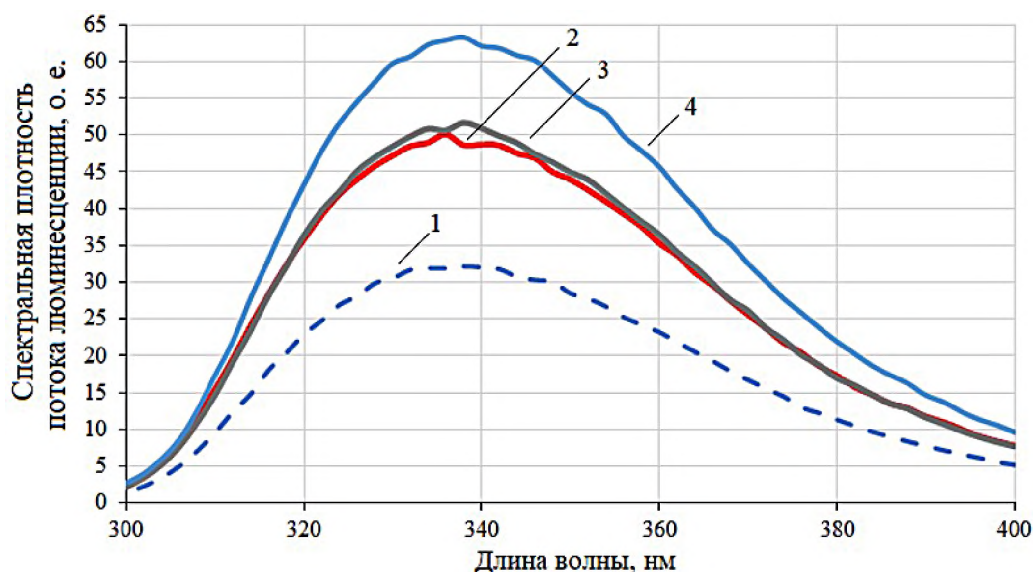
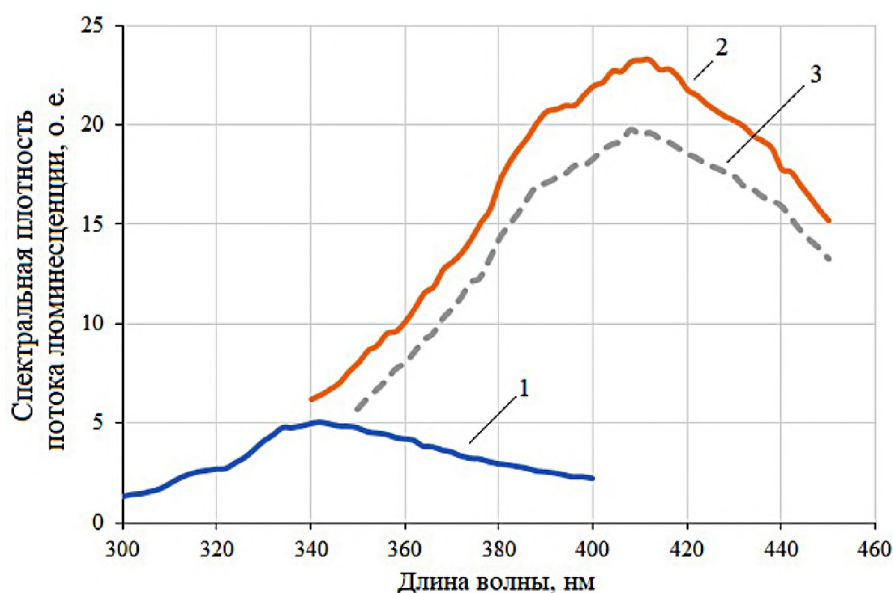


Рисунок 5

Спектры фотолюминесценции масла при возбуждении излучением длины волны $\lambda_{\text{в}} = 278$ нм (1), $\lambda_{\text{в}} = 308$ нм (2), $\lambda_{\text{в}} = 320$ нм (3)



ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для молока при скисании характеристика $\eta_3(\lambda)$ меняется мало, но до 255 нм спектр скисшего молока немного превосходит спектр исходного, с 255 до 280 нм спектры практически не отличаются, а после 280 нм исходное молоко немного превосходит по поглощательной способности скисшее, что подтверждает ранее полученные результаты

(Беляков и др., 2022). Спектр возбуждения творога отличается от спектра возбуждения молока только наличием ярко выраженного максимума на 250 нм и отсутствием пика на 322 нм. Величина максимума $\eta_3(\lambda)$ для молока и творога (на 262 нм) составляет около 41–43 о. е.

Спектр возбуждения сметаны существенно отличается от спектров молока и творога как качественно, так и количественно, его «центр тяжести» смещен вправо. Два его основных максимума 262 и 271 нм не отличаются по величине (около 20 о. е.).

Для масла наибольшие пики на 308 нм (около 22 о. е. по величине) и на 322 нм (около 20 о. е.). Характеристика возбуждения для масла заметно смещена вправо. В длинноволновой области (410–500 нм) масло не поглощает излучение в отличие от остальных продуктов, имеющих небольшое поглощение (до 2–3 о. е.).

Интегральные потоки фотолюминесценции, рассчитанные по формуле (2), для свежего и скисшего молока практически не отличаются: для возбуждения излучением 262 нм они составляют 2912 о. е. и 2951 о. е. соответственно, а для возбуждения излучением 442 нм — 1129 о. е. и 1289 о. е.

Спектры фотолюминесценции сметаны при возбуждении излучением 262 и 271 нм качественно схожи (Рисунок 3), но интегральный поток при $\lambda_{\text{в}} = 271$ нм составляет 1496 о. е., что на 19% превышает поток при более коротковолновом возбуждении, т. е. именно 271 нм необходимо использовать для диагностики сметаны фотолюминесцентным методом. Для возбуждения излучением 321 нм и 442 нм потоки фотолюминесценции ниже: 1116 о. е. и 1254 о. е. соответственно. Сравнивая потоки фотолюминесценции сметаны и молока видно, что при коротковолновом возбуждении (262 и 271 нм) для сметаны они примерно в два раза ниже, а при длинноволновом (442 нм) — примерно одинаковы. Это согласуется с данными по возбуждению (Рисунок 1).

Для творога при всех использованных длинах волн возбуждения спектры получились качественно одинаковыми (Рисунок 4), но по интегральному потоку наилучшим является возбуждение 288 нм ($\Phi_{288} = 3604$ о. е.), хотя наибольший пик возбуждения (Рисунок 1) приходится на 262 нм. По величине максимума фотолюминесценция творога превосходит аналогичные показатели молока и других исследованных молочных продуктов, что может быть вызвано соотношением содержания белков и жиров. Предположительно, люминесценция больше при повышенном содержании белков и пониженном содержании жиров. Это также подтверждается исследованием фотолюминес-

ценции сливочного масла: при $\lambda_{\text{в}} = 278$ нм поток очень мал — $\Phi_{278} = 334$ о. е., а при длинноволновом возбуждении $\lambda_{\text{в}} = 308$ нм и 320 нм потоки 1777 и 1495 о. е. соответственно.

Pandey & Joshi (202) исследовавшие порчу и фальсификацию молока мочевиной в режиме реального времени зафиксировали, что обнаруженная люминесценция в диапазоне 520–540 нм принадлежит рибофлавиону, при этом длина волны возбуждающего излучения составляет примерно 444 нм. Установленное нами изменение потока фотолюминесценции при $\lambda_{\text{в}} = 442$ нм для молочных продуктов можно объяснить тушением фотолюминесценции при скисании. Механизм тушения в основном объясняется передачей энергии резонанса флуоресценции и конкуренцией поглощения (Fan et al., 2022). Предположительно, для молочных продуктов с повышенным содержанием жиров (сметана, масло) сравнительно низкие потоки фотолюминесценции вызваны тушением люминесценции за счёт изменения концентрации молочного жира. Наиболее информативным диапазоном фотолюминесценции является 290–450 нм. В более длинноволновом диапазоне 490–600 нм различие как спектров, так и интегральных потоков практически не заметно.

Возможное ограничение результатов данного исследования может быть вызвано использованием определенных технологических операций при переработке, что накладывает отпечаток на физико-химические показатели и свойства готового продукта.

ВЫВОДЫ

Спектральная фотолюминесцентная диагностика молока и молочных продуктов (в том числе контроля массовых долей жиров и белков) имеет большой потенциал развития ввиду бесконтактности, высокой чувствительности и селективности, а также экологической безопасности и относительной дешевизне.

Для возбуждения молока и кисломолочных продуктов (творога, сметаны) наиболее целесообразным является использование длин волн возбуждения 262 нм (молоко), 271 нм (сметана) и 288 нм (творог). Для сливочного масла следует выбирать более

длинноволновое возбуждение — 308 нм. При этом фотолюминесцентное излучение следует измерять в диапазонах 290–400 нм для молока, сметаны и творога, а для масла — в диапазоне 340–450 нм.

Полученные результаты могут быть применены для создания базовой методики экспрессного контроля переработки и хранения молока с адаптивными методиками для отдельных видов молочных продуктов.

ЛИТЕРАТУРА

- Акулинин, И.В., Осинцев, А.М., & Брагинский В.И. (2016). Разработка комбинированного оптического метода для исследования коагуляции молока. *Техника и технология пищевых производств*, 41(2), 164–169.
- Беляков, М. В., Самарин, Г. Н., Кудрявцев, А. А., & Ефременков, И. Ю. (2022). Изменение спектральных фотолюминесцентных свойств молока при скисании. *Инженерные технологии и системы*, 32(3), 460–475. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202203.460-475>
- Буданина, Л.Н., Верещагин, А.Л., & Бычин, Н.В. (2017). Исследование подлинности сухого молока методами термического анализа и электронной микроскопии. *Техника и технология пищевых производств*, 44(1), 93–99.
- Мельденберг, Д.Н., Полякова, О.С., Семёнова, Е.С., & Юрова, Е.А. (2020). Разработка комплексной оценки белкового состава молока сырья различных сельскохозяйственных животных для выработки продуктов функциональной направленности. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 3, 118–133. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.352>
- Нилова, Л.П., & Камбулова, Е.В. (2019). Влияние термообработки на химический состав и свойства сгущенного молока с сахаром. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*, 7(2), 54–61. <https://doi.org/10.14529/food190206>
- Рязанцева, К.А., Шерстнева, Н.Е., & Жижин, Н.А. (2022). Улучшение структурных свойств кисломолочного продукта внесением модифицированных сывороточных белков. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 2, 52–66. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.342>
- An, C., Yang, K., Zhu, J., Guo, W., Lu, C. & Zhu, X. (2022). Qualitative identification of mature milk adulteration in bovine colostrum using noise-reduced dielectric spectra and linear model. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102, 7313–7322. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12097>
- Arroyo-Cerezo, A., Jiménez-Carvelo, A. M., González-Casado, A., Ruisánchez, I., & Cuadros-Rodríguez, L. (2023). The potential of the spatially offset Raman spectroscopy (SORS) for implementing rapid and non-invasive in-situ authentication methods of plastic-packaged commodity foods — Application to sliced cheeses. *Food Control*, 146, 109522. [10.1016/j.foodcont.2022.109522](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109522)
- Ashoorirad, M., Baghbani, R., & Ghalamboran, M.R. (2021). Bioimpedance sensor to detect water content in milk based on van Der Pauw method. *IET Nanobiotechnology*, 15(7), 611–618. <https://doi.org/10.1049/nbt2.12056>
- Batesttin, C., Ângelo, F.F., Rocha, R.A., Anjos, V., & Bell, M.J.V. (2022). High resolution raman spectroscopy of raw and UHT bovine and Goat milk, Measurement. *Food*, 6, 100029. [10.1016/j.meafoo.2022.100029](https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2022.100029)
- Biçer, Y. & Sönmez, G. (2022). Detecting cow milk in sheep yoghurt by TaqMan real-time PCR. *International Journal of Dairy Technology*, 75, 803–808. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12892>
- Boukria, O., Wang, J., Safarov, J., Gharsallaoui, A., Leriche, F., El Hadrami, E. M., & Ait-Kaddour, A. (2022). Delineation of molecular structure modification during coagulation of mixed camel and cow milk by mid-infrared spectroscopy and parallel factor analysis. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, e15839. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15839>
- Dorokhov, A., Samarin, G.N., Kudryavtsev, A., Efremkov, I., Ershova, I. & Belyakov, M. (2023). Control of milk acidity by photoluminescence. *International Journal of Food Science Technology*, 58, 222–227. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16195>
- Du, L., Lu, W., Zhang, Y., Gao, B., & Yu, L. (2020). Detection of milk powder in liquid whole milk using hydrolyzed peptide and intact protein mass spectral fingerprints coupled with data fusion technologies. *Food Science & Nutrition*, 8, 1471–1479. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1430>
- Ehsani, S., Dastgerdy, E.M., Yazdanpanah, H., & Parastar, H. (2022). Ensemble classification and regression techniques combined with portable near infrared spectroscopy for facile and rapid detection of water adulteration in bovine raw milk. *Journal of Chemometrics*, 37(1), e3395. <https://doi.org/10.1002/cem.3395>
- El Orche, A., Mamad, A., Elhamdaoui O., Cheikh A., El Karbane M., & Bouatia M. (2021). Comparison of machine learning classification methods for determining the geographical origin of raw milk using vibrational

ВКЛАД АВТОРОВ:

Беляков Михаил Владимирович: концептуализация, разработка методологии исследования, научное руководство исследованием, проведение исследования, подготовка черновика рукописи, рецензирование и редактирование рукописи.

Никитин Евгений Александрович: валидация данных, подготовка черновика рукописи, курирование данных, работа с программным обеспечением.

- spectroscopy. *Journal of Spectroscopy*, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/5845422>
- Fan, L., Li J., Sun, C., Zhang, J., Zhao, Y., Li, W., & Chang, Z. (2022). An ultra-sensitive fluorescent sensor based on Zn-MOF for selective detection of riboflavin in food. *Journal of Solid State Chemistry*, 316, 123616. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2022.123616>.
- Ghasemi, J. B., Hosseini, E., Daraei, B., Asadi, G., & Adib, N. (2021). Near-infrared spectroscopy and machine learning-based classification and calibration methods in detection and measurement of anionic surfactant in milk. *Journal of Food Composition and Analysis*, 104, 104170. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104170>
- Hosseini, E., Ghasemi, J.B., Daraei, B., Asadi, G. & Adib, N. (2021). Application of genetic algorithm and multivariate methods for the detection and measurement of milk-surfactant adulteration by attenuated total reflection and near-infrared spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101, 2696–2703. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10894>
- Hu, Y. & Lu, X. (2016). Rapid detection of melamine in tap water and milk using conjugated “One-Step” molecularly imprinted polymers-surface enhanced raman spectroscopic sensor. *Journal of Food Science*, 81, N1272–N1280. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13283>
- Khan, A., Munir, M.T., Yu, W. & Young, B.R. (2021). Near-infrared spectroscopy and data analysis for predicting milk powder quality attributes. *International Journal of Dairy Technology*, 74, 235–245. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12734>
- Li, Q., Yu, Z., Zhu, D., Meng, X., Pang, X., Liu, Y., Frew, R., Chen, H. & Chen, G. (2017). The application of NMR-based milk metabolite analysis in milk authenticity identification. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 2875–2882. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8118>
- Liang, W, Zhu, Z, Yang, B, Zhu, X, & Guo, W. (2021). Detecting melamine-adulterated raw milk by using near-infrared transmission spectroscopy. *Journal of Food Process Engineering*, 44, e13685. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13685>
- Oh, H.E., Eathorne, S. & Jones, M.A. (2022). Use of biosensor technology in analysing milk and dairy components: A review. *International Journal of Dairy Technology*, 75, 738–748. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12900>
- Ostovar pour, S., Afshari, R., Landry, J., Pillidge, C., Gill, H., & Blanch, E. (2021). Spatially offset Raman spectroscopy: A convenient and rapid tool to distinguish cheese made with milks from different animal species. *Journal of Raman Spectroscopy*, 52(10), 1705. <https://doi.org/10.1002/jrs.6179>
- Pandey, G., Joshi, A. (2021). Riboflavin as an internal marker for spoilage and adulteration detection in milk. *Food Chemistry*, 357, 129742. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129742>.
- Panikuttira, B., Payne, F.A., O’Shea, N., Tobin, J.T., O’Callaghan, D.J. & O’Donnell, C.P. (2020). Investigation of an in-line prototype fluorescence and infrared backscatter sensor to monitor rennet-induced coagulation of skim milk at different protein concentrations. *International Journal of Food Science & Technology*, 55, 175–182. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14267>
- Piacenza, E., Chillura Martino, D. F., Cinquanta, L., Conte, P., & Lo Meo, P. (2022). Differentiation among dairy products by combination of fast field cycling NMR relaxometry data and chemometrics. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 60(3), 369. <https://doi.org/10.1002/mrc.5226>
- Ranvir, S., Sharma, R., Gandhi, K., Upadhyay, N. & Mann, B. (2020). Assessment of proteolysis in ultra-high temperature milk using attenuated total reflectance–Fourier transform infrared spectroscopy. *International Journal of Dairy Technology*, 73, 366–375. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12683>
- Roy, M., Doddappa, M., Yadav, B.K., Jaganmohan, R., Sinija, V.R., Manickam, L. & Sarvanan, S. (2022). Detection of soybean oil adulteration in cow ghee (clarified milk fat): an ultrafast study using flash gas chromatography electronic nose coupled with multivariate chemometrics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102, 4097–4108. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11759>
- Singh, V. R., Pandey, S. P., & Singh P. K. (2022). A unique supramolecular assembly between sulfated cyclodextrin, silver and melamine: Towards a fluorescence based dual wavelength detection approach for melamine, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 428, 113862. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2022.113862>
- Spina, A. A., Ceniti, C., Piras, C., Tilocca, B., Britti, D., & Morittu, V. M. (2022). Mid-infrared (MIR) spectroscopy for the detection of cow’s milk in buffalo milk. *Journal of Animal Science and Technology*, 64(3), 531–538. <https://doi.org/10.5187/jast.2022.e22>
- Stefanakis, M., Bassler, M. C., Böltzig, T., Ostertag, E., Allnoch, D., Zuber, R., Brecht, M., & Rebner, K. (2022). Improved process control by using the effective scattering coefficients to determine the fat content in homogenized cow-based milk with multivariate data modeling. *ACS Food Science & Technology*, 2(3), 548–557. <https://doi.org/10.1021/acscfoodscitech.1c00435>
- Stevens, F., Beghuin, D., Delgrange, M., Arnould, Q., Baeten, V., & Fernández Pierna, J. A. (2022). Raman Fourier transform imaging: Application to melamine and melamine-milk powder mixtures analysis. *Journal of Raman Spectroscopy*, 53(11), 1947. <https://doi.org/10.1002/jrs.6415>
- Tarapoulouzi, M., Kokkinofa, R., & Theocharis, C.R. (2020). Chemometric analysis combined with FTIR spectroscopy of milk and Halloumi cheese samples according to species’ origin. *Food Science & Nutrition*, 8, 3262–3273. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1603>
- Tarapoulouzi M., Theocharis C. R. (2021). Discrimination of Cheddar, Kefalotyri, and Halloumi cheese samples by the chemometric analysis of Fourier transform infrared spectroscopy and proton nuclear magnetic resonance spectra. *Journal of Food Process Engineering*, 45, 7. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13933>
- Unger, P., Sekhon, A. S., Chen, X., & Michael, M. (2022). Developing an affordable hyperspectral imaging system for rapid identification of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in dairy products. *Food Science & Nutrition*, 10, 1175–1183. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2749>
- Vasafi P. S., Paquet-Durand O., Brettschneider K., Hinrichs J., & Hitzmann B. (2021). Anomaly detection during milk

- processing by autoencoder neural network based on near-infrared spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 299, 110510. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110510>
- Vasafi, P. S. & Hitzmann, B. (2022). Comparison of various classification techniques for supervision of milk processing. *Engineering in Life Sciences*, 22, 279–287. <https://doi.org/10.1002/elsc.202100098>
- Wang, Y., Guo, W., Zhu, X. & Liu, Q. (2019). Effect of homogenisation on detection of milk protein content based on NIR diffuse reflectance spectroscopy. *International Journal of Food Science & Technology*, 54, 387–395. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13948>
- Yazgan, N.N., Genis, H.E., Bulat, T., Topcu, A., Durna, S., Yetisemiyen, A. & Boyaci, I.H. (2020). Discrimination of milk species using Raman spectroscopy coupled with partial least squares discriminant analysis in raw and pasteurized milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100, 4756–4765. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10534>
- Zhang, T., Wu, X., Wu, B., Dai, C., & Fu, H. (2022). Rapid authentication of the geographical origin of milk using portable near-infrared spectrometer and fuzzy uncorrelated discriminant transformation. *Journal of Food Process Engineering*, 45(8), e14040. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14040>
- Zheng, B, Yu, Y, Wang, M, Wang, J, & Xu, H. (2022). Qualitative-quantitative analysis of multi-mycotoxin in milk using the high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry coupled with the quick, easy, cheap, effective, rugged and safe method. *Journal of Separation Science*, 45, 432–440. <https://doi.org/10.1002/jssc.202100641>
- ## REFERENCES
- Akulinin, I.V., Osincev, A.M., & Braginskij V.I. (2016). Razrabotka kombinirovannogo opticheskogo metoda dlja issledovaniya koagulyacii moloka [Development of a combined optical method for the study of milk coagulation]. *Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv [Equipment and technology of food production]*, 41(2), 164–169.
- Belyakov, M. V., Samarin, G. N., Kudrjavcev, A. A., & Efremkov, I. Ju. (2022). Izmenenie spektral'nyh fotoluminescentnyh svoystv moloka pri skisani [Change of spectral photoluminescent properties of milk during souring]. *Inzhenernye tehnologii i sistemy [Engineering technologies and systems]*, 32(3), 460–475. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202203.460-475>
- Budanina, L.N., Vereshhagin, A.L., & Bychin, N.V. (2017). Issledovanie podlinnosti suhogo moloka metodami termicheskogo analiza i jelektronnoj mikroskopii [Investigation of the authenticity of milk powder by thermal analysis and electron microscopy]. *Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv [Equipment and technology of food production]*, 44(1), 93–99.
- Mel'denberg, D.N., Poljakova, O.S., Semjonova, E.S., & Jurova, E.A. (2020). Razrabotka kompleksnoj ocenki belkovogo sostava moloka syr'ja razlichnyh sel'skohozhajstvennyh zhivotnyh dlja vyrabotki produktov funkcional'noj napravlenosti [Development of a comprehensive assessment of the protein composition of milk raw materials of various farm animals for the production of functional products]. *Hranenie i pererabotka sel'hozsy'r'ja [Storage and processing of agricultural raw materials]*, 3, 118–133. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.352>
- Nilova, L.P., & Kambulova, E.V. (2019). Vlijanie termoobrabotki na himicheskij sostav i svoystva sgushhennogo moloka s saharom [The effect of heat treatment on the chemical composition and properties of condensed milk with sugar]. *Vestnik JuUrGU. Seriya «Pishhevye i biotehnologii» [Bulletin of SUSU. Series "Food and biotechnology"]*, 7(2), 54–61. <https://doi.org/10.14529/food190206>
- Rjazanceva, K.A., Sherstneva, N.E., & Zhizhin, N.A. (2022). Uluchshenie strukturnykh svoystv kislomolochnogo produkta vneseniem modifitsirovannykh syvorotochnykh belkov [Improvement of the structural properties of the fermented milk product by introducing modified whey proteins]. *Hranenie i pererabotka sel'hozsy'r'ja [Storage and processing of agricultural raw materials]*, 2, 52–66. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.342>
- An, C., Yang, K., Zhu, J., Guo, W., Lu, C. & Zhu, X. (2022). Qualitative identification of mature milk adulteration in bovine colostrum using noise-reduced dielectric spectra and linear model. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102, 7313–7322. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12097>
- Arroyo-Cerezo, A., Jiménez-Carvelo, A. M., González-Casado, A., Ruisánchez, I., & Cuadros-Rodríguez, L. (2023). The potential of the spatially offset Raman spectroscopy (SORS) for implementing rapid and non-invasive in-situ authentication methods of plastic-packaged commodity foods — Application to sliced cheeses. *Food Control*, 146, 109522. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109522>
- Ashoorirad, M., Baghbani, R., & Ghalamboran, M.R. (2021). Bioimpedance sensor to detect water content in milk based on van Der Pauw method. *IET Nanobiotechnology*, 15(7), 611–618. <https://doi.org/10.1049/nbt2.12056>
- Batesttin, C., Ângelo, F.F., Rocha, R.A., Anjos, V., & Bell, M.J.V. (2022). High resolution raman spectroscopy of raw and UHT bovine and Goat milk, Measurement. *Food*, 6, 100029. <https://doi.org/10.1016/j.meaf.2022.100029>
- Biçer, Y. & Sönmez, G. (2022). Detecting cow milk in sheep yoghurt by TaqMan real-time PCR. *International Journal of Dairy Technology*, 75, 803–808. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12892>
- Boukria, O., Wang, J., Safarov, J., Gharsallaoui, A., Leriche, F., El Hadrami, E. M., & Ait-Kaddour, A. (2022). Delineation of molecular structure modification during coagulation of mixed camel and cow milk by mid-infrared spectroscopy and parallel factor analysis. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, e15839. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15839>
- Dorokhov, A., Samarin, G.N., Kudryavtsev, A., Efremkov, I., Ershova, I. & Belyakov, M. (2023). Control of milk acidity

- by photoluminescence. *International Journal of Food Science Technology*, 58, 222–227. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16195>
- Du, L., Lu, W., Zhang, Y., Gao, B., & Yu, L. (2020). Detection of milk powder in liquid whole milk using hydrolyzed peptide and intact protein mass spectral fingerprints coupled with data fusion technologies. *Food Science & Nutrition*, 8, 1471–1479. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1430>
- Ehsani, S., Dastgerdy, E.M., Yazdanpanah, H., & Parastar, H. (2022). Ensemble classification and regression techniques combined with portable near infrared spectroscopy for facile and rapid detection of water adulteration in bovine raw milk. *Journal of Chemometrics*, 37(1), e3595. <https://doi.org/10.1002/cem.3395>
- El Orche, A., Mamad, A., Elhamdaoui O., Cheikh A., El Karbane M., & Bouatia M. (2021). Comparison of machine learning classification methods for determining the geographical origin of raw milk using vibrational spectroscopy. *Journal of Spectroscopy*, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/5845422>
- Fan, L., Li J., Sun, C., Zhang, J., Zhao, Y., Li, W., & Chang, Z. (2022). An ultra-sensitive fluorescent sensor based on Zn-MOF for selective detection of riboflavin in food. *Journal of Solid State Chemistry*, 316, 123616, <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2022.123616>.
- Ghasemi, J. B., Hosseini, E., Daraei, B., Asadi, G., & Adib, N. (2021). Near-infrared spectroscopy and machine learning-based classification and calibration methods in detection and measurement of anionic surfactant in milk. *Journal of Food Composition and Analysis*, 104, 104170. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104170>
- Hosseini, E., Ghasemi, J.B., Daraei, B., Asadi, G. & Adib, N. (2021). Application of genetic algorithm and multivariate methods for the detection and measurement of milk-surfactant adulteration by attenuated total reflection and near-infrared spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101, 2696–2703. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10894>
- Hu, Y. & Lu, X. (2016). Rapid detection of melamine in tap water and milk using conjugated “One-Step” molecularly imprinted polymers-surface enhanced raman spectroscopic sensor. *Journal of Food Science*, 81, N1272–N1280. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13283>
- Khan, A., Munir, M.T., Yu, W. & Young, B.R. (2021). Near-infrared spectroscopy and data analysis for predicting milk powder quality attributes. *International Journal of Dairy Technology*, 74, 235–245. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12734>
- Li, Q., Yu, Z., Zhu, D., Meng, X., Pang, X., Liu, Y., Frew, R., Chen, H. & Chen, G. (2017). The application of NMR-based milk metabolite analysis in milk authenticity identification. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 2875–2882. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8118>
- Liang, W, Zhu, Z, Yang, B, Zhu, X, & Guo, W. (2021). Detecting melamine-adulterated raw milk by using near-infrared transmission spectroscopy. *Journal of Food Process Engineering*, 44, e13685. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13685>
- Oh, H.E., Eathorne, S. & Jones, M.A. (2022). Use of biosensor technology in analysing milk and dairy components: A review. *International Journal of Dairy Technology*, 75, 738–748. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12900>
- Ostovar pour, S., Afshari, R., Landry, J., Pillidge, C., Gill, H., & Blanch, E. (2021). Spatially offset Raman spectroscopy: A convenient and rapid tool to distinguish cheese made with milks from different animal species. *Journal of Raman Spectroscopy*, 52(10), 1705. <https://doi.org/10.1002/jrs.6179>
- Pandey, G., Joshi, A. (2021). Riboflavin as an internal marker for spoilage and adulteration detection in milk. *Food Chemistry*, 357, 129742. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129742>.
- Panikuttira, B., Payne, F.A., O’Shea, N., Tobin, J.T., O’Callaghan, D.J. & O’Donnell, C.P. (2020). Investigation of an in-line prototype fluorescence and infrared backscatter sensor to monitor rennet-induced coagulation of skim milk at different protein concentrations. *International Journal of Food Science & Technology*, 55, 175–182. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14267>
- Piacenza, E., Chillura Martino, D. F., Cinquanta, L., Conte, P., & Lo Meo, P. (2022). Differentiation among dairy products by combination of fast field cycling NMR relaxometry data and chemometrics. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 60(3), 369. <https://doi.org/10.1002/mrc.5226>
- Ranvir, S., Sharma, R., Gandhi, K., Upadhyay, N. & Mann, B. (2020). Assessment of proteolysis in ultra-high temperature milk using attenuated total reflectance–Fourier transform infrared spectroscopy. *International Journal of Dairy Technology*, 73, 366–375. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12683>
- Roy, M., Doddappa, M., Yadav, B.K., Jaganmohan, R., Sinija, V.R., Manickam, L. & Sarvanan, S. (2022). Detection of soybean oil adulteration in cow ghee (clarified milk fat): an ultrafast study using flash gas chromatography electronic nose coupled with multivariate chemometrics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102, 4097–4108. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11759>
- Singh, V. R., Pandey, S. P., & Singh P. K. (2022). A unique supramolecular assembly between sulfated cyclodextrin, silver and melamine: Towards a fluorescence based dual wavelength detection approach for melamine, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 428, 113862. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2022.113862>
- Spina, A. A., Ceniti, C., Piras, C., Tilocca, B., Britti, D., & Morittu, V. M. (2022). Mid-infrared (MIR) spectroscopy for the detection of cow’s milk in buffalo milk. *Journal of Animal Science and Technology*, 64(3), 531–538. <https://doi.org/10.5187/jast.2022.e22>
- Stefanakis, M., Bassler, M. C., Böltzig, T., Ostertag, E., Allnoch, D., Zuber, R., Brecht, M., & Rebner, K. (2022). Improved process control by using the effective scattering coefficients to determine the fat content in homogenized cow-based milk with multivariate data modeling. *ACS Food Science & Technology*, 2(3), 548–557. <https://doi.org/10.1021/acsfscitech.1c00435>
- Stevens, F., Beghuin, D., Delgrange, M., Arnould, Q., Baeten, V., & Fernández Pierna, J. A. (2022). Raman Fourier transform imaging: Application to melamine and melamine-milk powder mixtures analysis. *Journal of Raman Spectroscopy*, 53(11), 1947. <https://doi.org/10.1002/jrs.6415>

- Tarapoulouzi, M., Kokkinofa, R., & Theocharis, C.R. (2020). Chemometric analysis combined with FTIR spectroscopy of milk and Halloumi cheese samples according to species' origin. *Food Science & Nutrition*, 8, 3262–3273. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1603>
- Tarapoulouzi M., Theocharis C. R. (2021). Discrimination of Cheddar, Kefalotyri, and Halloumi cheese samples by the chemometric analysis of Fourier transform infrared spectroscopy and proton nuclear magnetic resonance spectra. *Journal of Food Process Engineering*, 45, 7. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13933>
- Unger, P., Sekhon, A. S., Chen, X., & Michael, M. (2022). Developing an affordable hyperspectral imaging system for rapid identification of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in dairy products. *Food Science & Nutrition*, 10, 1175–1183. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2749>
- Vasafi P. S., Paquet-Durand O., Brettschneider K., Hinrichs J., & Hitzmann B. (2021). Anomaly detection during milk processing by autoencoder neural network based on near-infrared spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 299, 110510. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110510>
- Vasafi, P. S. & Hitzmann, B. (2022). Comparison of various classification techniques for supervision of milk processing. *Engineering in Life Sciences*, 22, 279–287. <https://doi.org/10.1002/elsc.202100098>
- Wang, Y., Guo, W., Zhu, X. & Liu, Q. (2019). Effect of homogenisation on detection of milk protein content based on NIR diffuse reflectance spectroscopy. *International Journal of Food Science & Technology*, 54, 387–395. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13948>
- Yazgan, N.N., Genis, H.E., Bulat, T., Topcu, A., Durna, S., Yetisemiyen, A. & Boyaci, I.H. (2020). Discrimination of milk species using Raman spectroscopy coupled with partial least squares discriminant analysis in raw and pasteurized milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100, 4756–4765. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10534>
- Zhang, T., Wu, X., Wu, B., Dai, C., & Fu, H. (2022). Rapid authentication of the geographical origin of milk using portable near-infrared spectrometer and fuzzy uncorrelated discriminant transformation. *Journal of Food Process Engineering*, 45(8), e14040. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14040>
- Zheng, B, Yu, Y, Wang, M, Wang, J, & Xu, H. (2022). Qualitative-quantitative analysis of multi-mycotoxin in milk using the high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry coupled with the quick, easy, cheap, effective, rugged and safe method. *Journal of Separation Science*, 45, 432–440. <https://doi.org/10.1002/jssc.202100641>