
**ПРИБОРОСТРОЕНИЕ ДЛЯ БИОЛОГИИ
И МЕДИЦИНЫ**

УДК 543.51, 681.2–5, 664.3.032.9

© Е. В. Губина, А. Г. Кузьмин, Ю. А. Титов,
А. А. Чередникова, М. М. Гузенко, А. Ю. Зайцева, 2022**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО
КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ФЕРМЕНТИРОВАННОЙ МОЛОЧНОЙ
ПРОДУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗОВОГО КВАДРУПОЛЬНОГО
МАСС-СПЕКТРОМЕТРА**

Целью исследования было создание программно-аппаратного метода контроля качества ферментированной молочной продукции с возможностью определения степени соответствия заданному эталону. Произведен масс-спектрометрический анализ состава газовой среды трех групп образцов фермерской и промышленной ферментированной молочной продукции в режиме реального времени. В 1-ю группу входили йогурты от индивидуальных фермерских хозяйств из коровьего и козьего молока. Группа 2 состояла из образцов иной ферментированной продукции от индивидуальных фермерских хозяйств (кефиры, йогурты, сметана). Группа 3 — образцы промышленных йогуртов из коровьего молока. Всего было проанализировано 19 образцов ферментированной молочной продукции. Анализ состава проб производился на малогабаритном квадрупольном масс-спектрометре MS7-200 с прямым вводом пробы при атмосферном давлении. Пробы отбирались в специальном образом подготовленные медицинские шприцы емкостью 20 мл. Применение методов статистического анализа позволяет выделить группы схожих по своим свойствам образцов и определять принадлежность продукции к промышленному или штучному методу изготовления. Была показана перспективность использования масс-спектрометрических методик с применением методов анализа многомерных данных в качестве универсальных технологий для анализа пищевых продуктов.

Кл. сл.: масс-спектрометрический анализ, пищевая промышленность, молочная продукция, метод главных компонент

ВВЕДЕНИЕ

Производство молока в России растет и приближается к цифре 32 млн тонн в год, а потребление молока и молочной продукции на душу населения составляет около 230 литров в год [1]. Разнообразные молочные продукты активно завоевывают российский рынок, их качественный состав имеет первостепенное значение для обеспечения здорового и полноценного питания населения.

Состояние здоровья во многом зависит от рациона питания. Одна из причин патологии желудочно-кишечного тракта — несбалансированное питание. Важно не только соблюдать нормы потребления белков, жиров и углеводов, но и восполнять дефицит витаминов и микроэлементов, регулирующих физиологические процессы организма. Большую роль в этом играют ферментированные молочные продукты, имеющие множество питательных и профилактических свойств. Молочнокислые бактерии играют важную роль в определении положительного воздействия на здоровье человека [2].

Кисломолочные продукты входят во все основные рекомендации и руководства по здоровому питанию и образу жизни. Они не только обеспечивают макро- и микроэлементы и их более высокую биодоступность, но и содержат бактерии, способствующие развитию здоровой микробиоты. Помимо классических бактерий, используемых при производстве кисломолочных продуктов, во многие из них в последнее время стали включать пробиотики, которые благотворно действуют на флору кишечника, вытесняя патогены, и поэтому рекомендуется предусматривать их потребление в рационе взрослых и детей с первых лет жизни [3].

Молочнокислые бактерии издавна используются в пищевой промышленности в качестве заквасок для изготовления кисломолочных продуктов. Ключевой метаболит, образующийся в ходе таких реакций ферментации, — молочная кислота, которая является коммерчески ценным продуктом для пищевой и фармацевтической промышленности. Польза кисломолочных продуктов заключается в легкой усвояемости содержащихся в них питательных веществ. Благодаря бифидо- и лактобактериям, входящим в их состав, лучше

усваиваются молочные сахара. Компоненты кисломолочных продуктов (такие как молочная кислота, диоксид углерода, небольшой процент алкоголя в кефире и кумысе) стимулируют работу пищеварительной системы, создавая условия для комфортного и полного переваривания пищи.

Необходимый для организма кальций лучше проникает через слизистую оболочку кишечника, т.к. кислая среда переводит его в растворимое состояние. В детском и подростковом возрасте регулярное употребление кисломолочных продуктов в пищу становится решающим фактором в укреплении костного скелета и профилактике развития остеопороза [3].

Масс-спектрометрия широко используется в анализе безопасности и качества пищевых продуктов благодаря ее высокой чувствительности и неселективности [3]. Важной задачей современной масс-спектрометрии является обеспечение контроля качества пищевых продуктов, включая идентификацию, мониторинг и количественную оценку вновь выявленных пищевых загрязняющих веществ и компонентов. Получаемая в результате масс-спектрометрического анализа совокупность многомерных данных требует современной математической обработки. С этой целью для обработки данных широко применяются такие методы машинного обучения, как дискриминантный анализ и метод главных компонент [4–7].

Целью настоящей работы является масс-спектрометрический анализ состава газовой среды образцов ферментированной молочной продукции в режиме реального времени и применение методов интеллектуального статистического анализа для выделения групп схожих по своим свойствам образцов. Это позволит в перспективе разработать методики экспресс-контроля качества кисломолочной продукции и определять принадлежность продукции к промышленному или штучному методу изготовления.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Методика исследований

Исследованы пробы газовой среды ферментированной молочной продукции. Анализ состава проб производился на малогабаритном квадрупольном масс-спектрометре МС7-200 с прямым капиллярным вводом пробы при атмосферном давлении, разработанном в ИАП РАН. Отбор проб производился через капилляр системы ввода масс-спектрометра непосредственно внутри упаковки с ферментированной молочной продукцией в режиме реального времени. Схематическое изображение процесса измерений приведено на рис. 1.

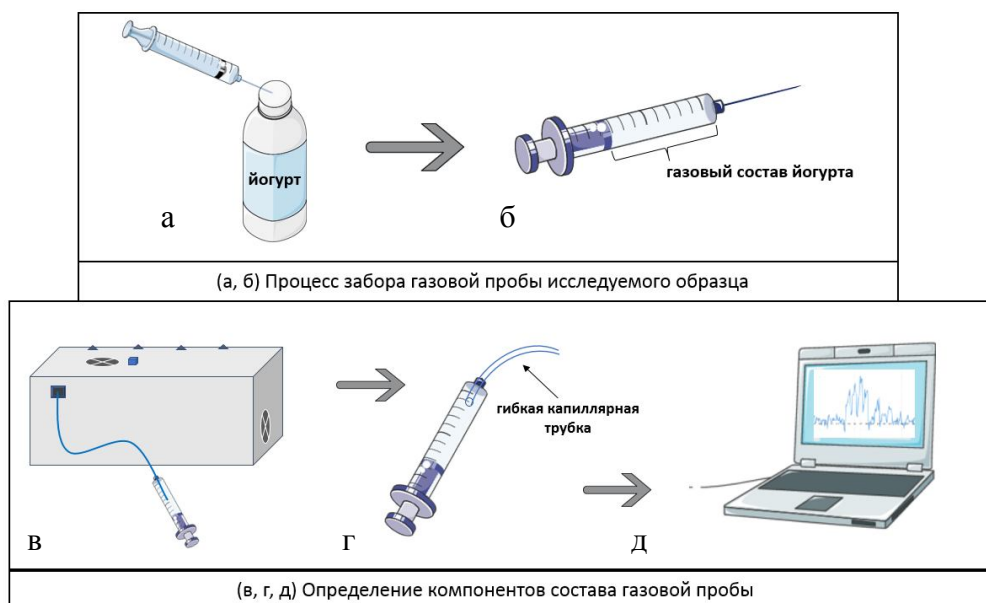


Рис. 1. Этапы исследования.

а — забор газовой пробы исследуемого образца путем ввода иглы в крышку без соприкосновения с продуктом; б — вид пробозаборного шприца с газовым составом исследуемого образца; в — измерения при помощи масс-спектрометра МС-7 200 с прямым вводом газовой пробы; г — гибкая капиллярная трубка на шприце, которая вводилась в пробозаборник; д — спектр масс исследуемого вещества на экране ПК

Были проведены исследования трех групп ферментированной молочной продукции. Группа 1 была представлена девятью йогуртами из коровьего и козьего молока от индивидуальных фермерских хозяйств. Группа 2 состояла из пяти образцов иной ферментированной продукции от индивидуальных фермерских хозяйств (кефиры, йогурты, сметана). В группу 3 вошли пять образцов промышленных йогуртов из коровьего молока. Всего было проанализировано девятнадцать образцов ферментированной молочной продукции.

В качестве многомерного разведочного анализа данных был использован метод главных компонент. Данный метод представляет собой ортогональное линейное преобразование, которое отображает данные из исходного пространства признаков в новое пространство меньшей размерности, сохраняя при этом наибольшее количество информации. Выделение двух главных компонент ГК1 и ГК2 — собственных векторов, соответствующих наибольшему собственным числам, построение

на плоскости (ГК1, ГК2) в виде точек, каждая из которых обозначает состояние определенного молочного продукта, и анализ их взаимного расположения составляют полный цикл анализа [9].

Метод главных компонент был успешно применен для кластеризации и визуализации полученных данных. Конечные результаты представляются в виде сводки или визуального изображения, такого как диаграмма или график. Данные инструменты визуализации помогают определить неявные закономерности, которые присутствуют в данных, и обнаружить корреляционные зависимости переменных.

Анализ результатов исследования

В результате экспериментального исследования были получены масс-спектры газового состава для девятнадцати образцов ферментированной молочной продукции.



Рис. 2. Масс-спектр образцов ферментированной молочной продукции от индивидуальных фермерских хозяйств



Рис. 3. Масс-спектр образцов ферментированной молочной продукции промышленного изготовления

Сравнительный анализ масс-спектров газового состава ферментированной молочной продукции одного производителя показан на рис. 2. Образцы отличаются наполнителем. Для йогурта 1 наполнитель — черная смородина, йогурт 2 — классический, без наполнителя.

Сравнительный анализ масс-спектров газового состава промышленной ферментированной молочной продукции показан на рис. 3. Образцы йогурт 3 и йогурт 4 не содержат наполнителя и сахара.

Полученные в результате измерений масс-спектры различных групп имели существенные особенности. Спектральный состав масс выделенных трех групп ферментированной молочной продукции заметно отличался наличием в группе 3 дополнительных компонент с отношением массы к заряду, равным 71 дальтон, и повышенной концентрацией компонент с отношением массы к заряду со значениями 56 и 57 дальтон.

Это обстоятельство свидетельствует о наличии дополнительных веществ в составе ферментированной молочной продукции относительно продукции индивидуальных фермерских хозяйств. Можно предположить, что такое соотношение интенсивностей компонент масс-спектров содержит информацию о добавках, о составе, что позволяет проводить экспресс-анализ отклонений состава ферментированной продукции от заданного эталона после набора определенной статистики.

Было обнаружено, что некоторые образцы из первой и второй групп имеют пик отношения массы к заряду, равным 69, который, возможно, отражает высоконасыщенный углеводород — сквален ($C_{30}H_{50}$). Благодаря своим значительным диетическим преимуществам, биосовместимости,

инертности и другим полезным свойствам, сквален широко используется в качестве вспомогательного вещества в фармацевтических препаратах. Кроме того, сквален действует как защитное средство и, как было показано, снижает побочные эффекты, вызванные химиотерапией. Более того, сквален сам по себе проявляет профилактическую активность [3].

Был проведен статистический анализ данных, полученных в результате масс-спектрометрических измерений ферментированной молочной продукции. Метод главных компонент был выбран с целью уменьшения размерности многомерных данных и их визуализации в двумерном пространстве. Метод главных компонент представляет ортогональное линейное преобразование, которое отражает данные из исходного пространства в новое меньшей размерности. Количество выделяемых компонент (как и сумма всех полученных собственных значений) равно числу исходных признаков. Для расчета доли дисперсии, которая связана с каждой компонентой, каждую дисперсию, приходящуюся на каждую компоненту, делят на сумму совокупной общей дисперсии по всем компонентам с последующим отбрасыванием менее значимых компонент. Все компоненты в сумме исчерпывают 100% совокупной дисперсии исходных признаков [10].

Первой главной компонентой называется первая ось двумерного пространства, второй главной компонентой называется вторая ось двумерного пространства, на них приходится наибольшая доля совокупной дисперсии. Каждый исследуемый образец представляется двумерной точкой в декартовой системе координат, которая характеризуется признаками образца молочной продукции (рис. 4).

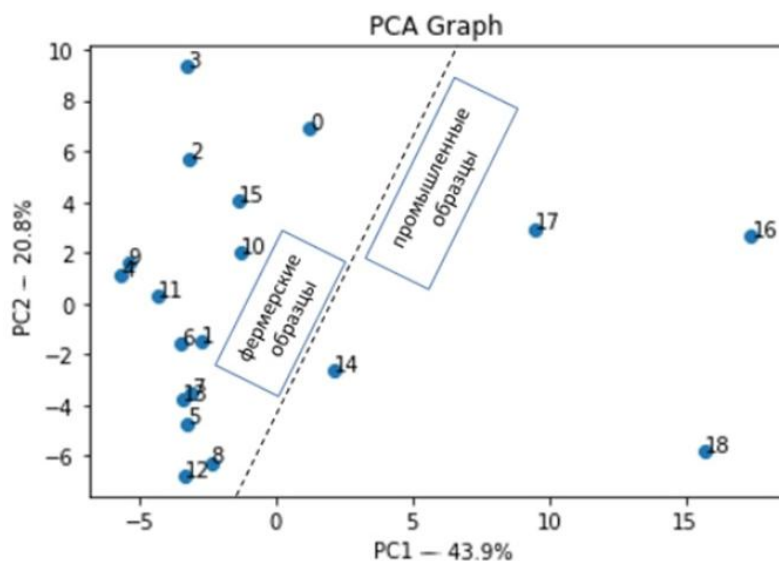


Рис. 4. График двух первых главных компонент для 19 образцов ферментированной молочной продукции. Образцы 0–13 — ферментированная продукция от индивидуальных фермерских хозяйств, образцы 14–18 — промышленная продукция

Для расчета были взяты десять пиковых значений отношения массы к заряду, наиболее типичных для анализируемых образцов ферментированной молочной продукции.

Каждый образец представлен в виде точки в пространстве двух главных компонент. В результате вычислений установлено, что первая и вторая главные компоненты ГК1 и ГК2 в сумме объясняют 64.7% совокупной дисперсии исходных данных. В результате применения методов математической статистики исследуемые образцы разделились на две группы, состоящие из четырех и пятнадцати образцов. Предлагаемая методика позволяет выделить группы схожих по своим свойствам образцов и определять принадлежность продукции к промышленному или штучному методу изготовления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, настоящее исследование показывает перспективность использования масс-спектрометрического программно-аппаратного метода контроля качества ферментированной молочной продукции и возможность с его помощью определения степени соответствия продукции заданному эталону.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-00761-22-00.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микрофлора кисломолочных продуктов разных торговых марок [Электронный ресурс]. URL: <https://school-science.ru/3/1/32980> (дата обращения: 01.04.2022).
2. Комарова О.Н., Хавкин А.И. Кисломолочные продукты в питании детей: пищевая и биологическая ценность // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2017. Т. 62, № 5. С. 80–86. DOI: 10.21508/1027-4065-2017-62-5-80-86
3. Amarowicz R. Squalene: a natural antioxidant? // European journal of lipid science and technology. 2009. Vol. 111, no. 5. P. 411–412. DOI: 10.1002/ejlt.200900102
4. Lu H, Zhang H., Chingin K., Xiong J. et al. Ambient mass spectrometry for food science and industry // TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2018. Vol. 107. P. 99–115. DOI: 10.1016/j.trac.2018.07.017
5. Shiby V.K., Mishra H.N. Fermented milks and milk products as functional foods — A review // Critical reviews in food science and nutrition. 2013. vol. 53, no. 5. P. 482–496. DOI: 10.1080/10408398.2010.547398
6. Manoilov V.V., Novikov L.V., Zarutskii I.V., Kuz'min A.G., Titov Y.A. Methods for processing mass spectrometry signals from exhaled gases for medical diagnosis // Biomedical engineering. 2020. Vol. 53, no. 5. P. 355–359. DOI: 10.1007/s10527-020-09942-0
7. Manoilov V.V., Kuzmin A.G., Titov U.A. Extraction of information attributes from the mass spectrometric signals of air // Journal of Analytical Chemistry. 2016. Vol. 71, is. 14. P. 1301–1308. DOI: 10.1134/S1061934816140094
8. Манойлов В.В., Заруцкий И.В., Кузьмин А.Г., Титов Ю.А., Самсонова Н.С. Методы обработки и исследование возможностей классификации масс-спектров выдыхаемых газов // Научное приборостроение. 2019. Т. 29, № 1. С. 106–111. URL: <http://iairas.ru/mag/2019/abst1.php#abst16>
9. Mazing M.S., Zaitceva A.Y., Kislyakov Y.Y., Davydov V.V., Kondakov N.S., Avdyushenko S.A. Analytical complex for study of the oxygen status of tissues of the human organism // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2020. Vol. 1695. Id. 012065. DOI: 10.1088/1742-6596/1695/1/012065
10. Mazing M.S., Zaitceva A.Y., Kislyakov Y.J. Development of a method for assessing of the oxygen supply of tissues based on a multi-channel spectrum analyzer // International Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies. Springer, Cham., 2020. P. 233–239. DOI: 10.1007/978-3-030-58868-7_26

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия (Губина Е.В.)

Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург (Кузьмин А.Г., Титов Ю.А., Чередникова А.А., Гузенко М.М., Зайцева А.Ю.)

Контакты: Губина Евгения Вячеславовна, gubina.z@yandex.ru

Материал поступил в редакцию 05.08.2022

EXPLORING THE POSSIBILITY OF INTELLIGENT QUALITY CONTROL OF FERMENTED DAIRY PRODUCTS USING A GAS QUADRUPOLE MASS SPECTROMETER

E. V. Gubina¹, A. G. Kuzmin², Yu. A. Titov², A. A. Cherednikova²,
M. M. Guzenko², A. Yu. Zaitceva²

¹*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia*

²*Institute for Analytical Instrumentation of RAS, Saint Petersburg, Russia*

The aim of the research was to create a hardware-software method for quality control of fermented dairy products with the ability to determine the degree of compliance with a given reference standard. A real-time mass spectrometric analysis of the gas composition of three groups of farm and industrial fermented dairy product samples was performed. Group 1 consisted of yoghurts from individual farms made of cow's and goat's milk. Group 2 consisted of samples of other fermented products from individual farms (kefir, yoghurt, sour cream). Group 3 consisted of samples of industrial yoghurts made of cow's milk. A total of nineteen samples of fermented dairy products were analysed. Analysis of sample composition was performed on a small-sized quadrupole mass spectrometer MS7-200 with direct sample introduction at atmospheric pressure. Samples were taken into specially prepared medical syringes of 20 ml capacity. The use of statistical analysis methods enables the assignment of groups of samples with similar properties and the classification of production as industrial or piece production. It has been demonstrated that mass spectrometric approaches utilizing multivariate data analysis techniques are promise as universal technologies for the examination of foodstuffs.

Keywords: mass spectrometric analysis, food industry, dairy products, principal component method

INTRODUCTION

Milk production in Russia is growing and is approaching the figure of 32 million tons per year, and the consumption of milk and dairy products per capita is about 230 liters per year [1]. Various dairy products are actively conquering the Russian market, their qualitative composition is of paramount importance for ensuring the healthy nutrition of the population.

The state of health largely depends on the diet. One of the causes of gastrointestinal pathology is unbalanced nutrition. It is important not only to comply with the norms of consumption of proteins, fats, and carbohydrates, but also to compensate for the deficiency of vitamins and microelements that regulate the physiological processes of the body. A large role in this is played by fermented dairy products, which have many nutritional and preventive properties. Lactic acid bacteria play an important role in determining their positive impact on human health [2].

Fermented milk products are included in all the main recommendations and guidelines for healthy eating and living. They not only provide macro- and micronutrients and their higher bioavailability, but also contain bacteria that contribute to the development of a healthy microbiota. In addition to the classic bacteria used in the production of fermented milk products, many of them have recently begun to include probiotics that have a beneficial effect on the

intestinal flora, displacing pathogens, and therefore it is recommended to include their consumption in the diet of adults and children from the first years of life [3].

Lactic acid bacteria have long been used in the food industry as starters for the manufacture of fermented milk products. A key metabolite produced during such fermentation reactions is lactic acid, which is a commercially valuable product for the food and pharmaceutical industries. The benefit of fermented milk products is the easy digestibility of the nutrients contained in them. Lactose is better absorbed due to the bifido- and lactobacteria, that are part of them. Components of fermented milk products (such as lactic acid, carbon dioxide, and a small percentage of alcohol in kefir and koumiss) stimulate the digestive system, creating conditions for comfortable and complete digestion of food.

The calcium necessary for the body penetrates better through the intestinal mucosa, since the acidic medium makes it soluble. In childhood and adolescence, regular consumption of fermented milk products becomes a decisive factor in strengthening the bone skeleton and preventing the development of osteoporosis [3].

Due to its high sensitivity and non-selectivity, mass spectrometry is widely used in the analysis of food safety and quality [3]. An important task of modern mass spectrometry is to ensure food quality con-

trol, including the identification, monitoring, and quantification of newly identified food contaminants and components. The set of multivariate data resulting from mass spectrometry analysis requires modern mathematical processing. For this purpose, such machine learning methods as discriminant analysis and principal component analysis are widely used for data processing [4–7].

The purpose of this work is the mass spectrometric analysis of the composition of the gaseous medium of samples of fermented dairy products in real-time and the use of methods of intellectual statistical analysis to identify groups of samples similar in their properties. This will make it possible to create procedures for rapid quality control of fermented milk products in the future and determine whether particular products are part of an industrial or piecemeal production line.

MAIN PART

Research methodology

Samples of the gas composition of fermented dairy products were studied. The composition of the samples was analyzed using a small-sized quadrupole mass spectrometer MS7-200 with direct capillary sample injection at atmospheric pressure, developed at the Institute for Analytical Instrumentation of RAS. Samples were taken directly from the fermented dairy products through the capillary of the mass spectrometer injection system in real time. A schematic representation of the measurement process is shown in Fig. 1.

Fig. 1. Study stages.

а — taking a gas sample of the test sample by inserting a needle into the lid without contact with the product; б — type of sample intake syringe with the gas composition of the test sample; в — measurements with a mass spectrometer MS-7 200 with direct introduction of gas sample; г — flexible capillary tube on a syringe, which was introduced into the sample intake; д — mass spectrum of the test substance on the PC screen

Three groups of fermented dairy products were studied. Group 1 included nine cow and goat milk yogurts from individual farms. Group 2 consisted of five samples of other fermented products from individual farms (kefirs, yogurts, sour cream). Group 3 included five samples of commercial yoghurts made from cow milk. In total, nineteen samples of fermented dairy products were analyzed.

The principal component method was used as a multivariate exploratory analysis of the data. This method is an orthogonal linear transformation that

maps data from the original feature space to a new smaller dimension space, while retaining the most information. Identification of two principal components of ГК1 and ГК2 — eigenvectors corresponding to the largest eigenvalues, plotted on the plane (ГК1, ГК2) in the form of dots, each of which denotes the state of a particular dairy product, and analysis of their relative positions constitutes a complete analysis cycle [9].

The principal component method has been successfully applied to clustering and visualizing the received data. The final results are presented as a summary or visual representation, such as a chart or graph. These visualization tools help identify implicit patterns that are present in the data, and discover the correlations between the variables.

Analysis of study results

As a result of the experimental study, mass spectra of the gas composition were obtained for nineteen samples of fermented dairy products.

A comparative analysis of the mass spectra of the gas composition of fermented dairy products from one producer is shown in Fig. 2. Samples differ in filler. For yogurt 1 filler is black currant, yogurt 2 is classic, without filler.

Fig. 2. Mass spectrum of fermented dairy samples from individual farms

A comparative analysis of the mass spectra of the gas composition of commercial fermented dairy products is shown in Fig. 3. The samples of yoghurt 3 and yoghurt 4 do not contain filler and sugar.

Fig. 3. Mass spectrum of samples of fermented dairy products of industrial manufacture

The mass spectra of various groups obtained as a result of measurements had significant features. The spectral composition of the masses of the selected three groups of fermented dairy products was markedly distinguished by the presence of additional components with a mass-to-charge ratio of 71 daltons in group 3, and an increased concentration of components with a mass-to-charge ratio of 56 and 57 daltons.

This indicates the presence of additional substances in the composition of fermented dairy products relative to the products of individual farms. It can be assumed that such a ratio of intensities of mass

spectrum components contains information about additives, and composition, which makes it possible to carry out an express analysis of deviations in the composition of fermented products from a given standard after collecting certain statistics.

It was found that some samples from the first and second groups have a mass-to-charge ratio peak of 69, which possibly reflects the highly unsaturated hydrocarbon — squalene ($C_{30}H_{50}$). Due to its significant dietary benefits, biocompatibility, inertness, and other beneficial properties, squalene is widely used as an excipient in pharmaceuticals. Further, squalene acts as a protective agent and has been shown to reduce chemotherapy-induced side effects. Moreover, squalene itself exhibits preventive activity [3].

A statistical analysis of the data obtained as a result of the mass spectrometric measurements of fermented dairy products was carried out. The principal component method was chosen to reduce the dimensionality of multidimensional data and visualize it in two-dimensional space. The principal component method represents an orthogonal linear transformation that reflects data from the original space into a new one of lower dimensionality. The number of selected components (as well as the sum of all obtained eigenvalues) is equal to the number of initial features. To calculate the portion of variance that is associated with each component, each variance attributable to each component is divided by the sum of the total variance for all components, followed by discarding less significant components. All components in total exhaust 100% of the total variance of the initial characteristics [10].

The first principal component is the first axis of two-dimensional space, and the second principal component is the second axis of two-dimensional space; they account for the largest share of the total variance. Each test sample is represented by a two-dimensional point in the Cartesian coordinate system, which is formed by the features of the dairy sample (Fig. 4).

Fig. 4. Graph of the first two principal components for 19 samples of fermented dairy products. Samples 0–13 — fermented products from individual farms; samples 14–18 — industrial products

Ten peak mass-to-charge values, typical of the analyzed fermented dairy samples, were taken for calculation.

Each sample is represented as a dot in the space of the two principal components. As a result of the calculations, it was found that the first and second principal components ГК1 and ГК2 explain 64.7% of the total variance of the original data. As a result of the appli-

cation of mathematical statistics methods, the test samples were divided into two groups, consisting of four and fifteen samples. The proposed method makes it possible to identify groups of samples that are similar in their properties and determine whether the product belongs to industrial or piece manufacturing.

CONCLUSION

Thus, the present study shows the promise of using a mass-spectrometric software-hardware method for quality control of fermented dairy products and the possibility of using it to determine the degree of product compliance with a given standard.

REFERENCES

1. Ermashov A.I. *Mikroflora kislomolochnykh produktov raznykh torgovykh marok* [Microflora of fermented milk products of different brands]. URL: <https://school-science.ru/3/1/32980> (accessed: 01.04.2022). (In Russ.).
2. Komarova O.N., Havkin A.I. [Cultured milk foods in children's nutrition: nutritional and biological value]. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii* [Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics], 2017, vol. 62, no. 5, pp. 80–86. DOI: 10.21508/1027-4065-2017-62-5-80-86 (In Russ.).
3. Amarowicz R. Squalene: a natural antioxidant? *European journal of lipid science and technology*, 2009, vol. 111, no. 5, pp. 411–412. DOI: 10.1002/ejlt.200900102
4. Lu H., Zhang H., Chingin K., Xiong J., et al. Ambient mass spectrometry for food science and industry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2018, vol. 107, pp. 99–115. DOI: 10.1016/j.trac.2018.07.017
5. Shiby V.K., Mishra H.N. Fermented milks and milk products as functional foods — A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2013, vol. 53, no. 5, pp. 482–496. DOI: 10.1080/10408398.2010.547398
6. Manoilov V.V., Novikov L.V., Zarutskii I.V., Kuzmin A.G., Titov Y.A. Methods for processing mass spectrometry signals from exhaled gases for medical diagnosis. *Biomedical engineering*, 2020, vol. 53, no. 5, pp. 355–359. DOI: 10.1007/s10527-020-09942-0
7. Manoilov V.V., Kuzmin A.G., Titov U.A. Extraction of information attributes from the mass spectrometric signals of air. *Journal of Analytical Chemistry*, 2016, vol. 71, no. 14, pp. 1301–1308. DOI: 10.1134/S1061934816140094
8. Manoilov V.V., Kuzmin A.G., Zarutskii I.V., Titov U.A. Samsonova N.S. [Methods of processing and investigation of the possibilities of classification of mass spectra of exhaled gases]. *Nauchnoe Priborostroenie* [Scientific Instrumentation], 2019, vol. 29, no. 1, pp. 106–111. DOI: 10.18358/np-29-1-i106110 (In Russ.).
9. Mazing M.S., Zaitceva A.Y., Kislyakov Y.Y., Davydov V.V., Kondakov N.S., Avdyushenko S.A. Analytical complex for study of the oxygen status of tissues of the human organism. *Journal of Physics: Conference Series*.

IOP Publishing, 2020, vol. 1695, Id. 012065. DOI: 10.1088/1742-6596/1695/1/012065

10. Mazing M.S., Zaitceva A.Y., Kislyakov Y.J. Development of a method for assessing of the oxygen supply of tissues based on a multi-channel spectrum analyzer. *Inter-*

national Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies. Springer, Cham., 2020, pp. 233–239. DOI: 10.1007/978-3-030-58868-7_26

Contacts: *Gubina Evgeniya Vyacheslavovna*,
gubina.z@yandex.ru

Article received by the editorial office on 05.08.2022