

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ/FOOD SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.159.56>

ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ АРОМАТА БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛЕБА

Научная статья

Сорокин С.С.^{1,*}, Кучменко Т.А.², Умарханов Р.У.³, Рысмухамбетова Г.Е.⁴, Макарова А.Н.⁵

¹ ORCID : 0009-0007-3062-5529;

² ORCID : 0000-0001-7812-9195;

⁴ ORCID : 0000-0003-4224-5922;

^{1, 4, 5} Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация

^{2, 3} Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (sergejfrejdin92074[at]gmail.com)

Аннотация

В работе представлено исследование ароматического профиля безглютеновых хлебобулочных изделий с использованием прибора «МАГ-8» по методике «электронный нос». Изучены шесть образцов ранее разработанные безглютеновых хлебобулочных изделий:

- контроль 1 из рисовой и льняной муки (70:30) с добавлением 3,4% псилиума;
- контроль 2 кукурузной и льняной муки (50:50) с добавлением 3,4% псилиума.

А в качестве опытных исследовали образцы:

- из рисовой и льняной муки (70:30) с добавлением капустного порошка 4%;
- из рисовой и льняной муки (70:30) с добавлением ксантана 0,5%;
- из кукурузной и льняной муки (50:50) с добавлением капустного порошка 5%;
- из кукурузной и льняной муки (50:50) с добавлением ксантана 0,4%.

Установлено, что добавление ксантановой камеди привело к значительному снижению интенсивности летучих органических соединений (ЛОС). Так, для образцов на основе рисовой муки снижение площади визуального отпечатка составило 30,04% (образец 3 по сравнению с контрольным образцом 1), а на основе кукурузной — 29,84% (образец 4 по сравнению с контрольным образцом 2). Введение капустного порошка также сопровождалось снижением ароматической насыщенности, но в меньшей степени: 1,26% для рисовой группы (образец 1 относительно контроля 1) и 19,42% для кукурузной (образец 2 относительно контроля 2). Нормированный анализ по сенсорным откликам показал, что ксантан способствует снижению содержания полярных соединений и аминов (например, содержание влаги по сенсору S1 снизилось с 21,95% до 17,59%). Влияние добавок оказалось более выраженным в образцах на основе кукурузной муки. Полученные данные демонстрируют перспективность применения газоанализаторов в оценке ароматических характеристик и позволяют оптимизировать рецептуры безглютеновой продукции.

Ключевые слова: композитные смеси муки, безглютеновый хлеб, электронный нос, летучие органические соединения, аромат, новые методики.

STUDY OF AROMATIC INDICATORS OF GLUTEN-FREE BREAD USING THE 'ELECTRONIC NOSE' DEVICE

Research article

Sorokin S.S.^{1,*}, Kuchmenko T.A.², Umarkhanov R.U.³, Rysmuhambetova G.E.⁴, Makarova A.N.⁵

¹ ORCID : 0009-0007-3062-5529;

² ORCID : 0000-0001-7812-9195;

⁴ ORCID : 0000-0003-4224-5922;

^{1, 4, 5} Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

^{2, 3} Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation

* Corresponding author (sergejfrejdin92074[at]gmail.com)

Abstract

The paper presents a study of the aromatic profile of gluten-free bakery products using the MAG-8 device using the "electronic nose" technique. Six samples of previously developed gluten-free bakery products were studied:

control 1 — made of rice and flaxseed flour (70:30) with the addition of 3.4% psyllium,
control 2 — corn and flaxseed flour (50:50) with the addition of 3.4% psyllium.

And the following samples were studied as experimental:

- 1.1 — made of rice and flaxseed flour (70:30) with the addition of 4% cabbage powder;
- 1.2 — made of rice and flaxseed flour (70:30) with the addition of 0.5% xanthan;
- 2.1 — made of corn and flaxseed flour (50:50) with the addition of 5% cabbage powder;
- 2.2 — from corn and flax flour (50:50) with the addition of 0.4% xanthan.

It was found that the addition of xanthan gum led to a significant decrease in the intensity of volatile organic compounds (VOCs). Thus, for samples based on rice flour, the decrease in the visual imprint area was 30.04% (sample 3 compared to control sample 1), and based on corn — 29.84% (sample 4 compared to control sample 2). The introduction of cabbage powder was also accompanied by a decrease in aromatic saturation, but to a lesser extent: 1.26% for the rice group (sample 1 relative

to control 1) and 19.42% for the corn group (sample 2 relative to control 2). The normalized sensory response analysis showed that xanthan gum helps reduce the content of polar compounds and amines (e.g., the moisture content according to sensor S1 decreased from 21.95% to 17.59%). The effect of additives was more pronounced in corn flour-based samples. The obtained data demonstrate the potential of using gas analyzers in assessing aromatic characteristics and allow optimizing the recipes of gluten-free products.

Keywords: composite flour blends, gluten-free bread, electronic nose, volatile organic compounds, aroma, new techniques.

Введение

В последние годы у большинства жителей Российской Федерации отношение к глютену кардинально изменилось. Из малоизвестного термина он превратился в один из самых обсуждаемых компонентов пищевого рациона. Маркировка «Gluten-free» больше не воспринимается как просто модный тренд, но и является жизненной необходимостью и единственной терапией для людей с непереносимостью глютена. Целиакия — это аутоиммунное заболевание, при котором даже следовые количества глютена вызывают воспалительные процессы и серьезные повреждения тонкой кишки [6], [9].

В связи с вышеизложенным данный вопрос требует особого внимания и необходимость разработки безглютеновой продукции для массового потребления.

Безглютеновый хлеб создается из следующего сырья — кукурузной, рисовой, гречневой и других видов муки, не содержащих глютеновые фракции. Безусловно, безглютеновые продукты обладают другой текстурой и ароматом по сравнению с аналогами из пшеничной муки [5], [10].

При разработке новых безглютеновых изделий важно не только обеспечить безопасность, но и сохранить привычные для потребителя вкусовые и ароматические свойства. Именно поэтому необходимо проведение органолептических исследований, в том числе с применением современных методик или устройств, например, «электронный нос» это устройство имитирующее человеческое обоняние. Эти системы позволяют качественно и количественно оценить летучие соединения, снижающие излучательную способность восприятия. Их использование обеспечивает создание продуктов, которые не только диетические, но и соответствуют вкусовым ожиданиям потребителей [1], [7], [8].

Современная наука в области пищевых технологий подчёркивает оригинальность запаха, как один из ключевых показателей качества продукции. Формулировка для расчета летучих методов обработки и влияния на восприятие свежести, безопасности и привлекательности продукта. Согласно исследованию, около 70% потребителей при выборе еды ориентируются на запах. Однако восприятие аромата — индивидуальный процесс, основанный на личных предпочтениях, культурном контексте и психофизиологическом состоянии человека, что затрудняет объективную оценку органолептических характеристик [2], [3].

Цель работы — изучить ароматические показатели исследуемых образцов безглютенового хлеба с помощью мультисенсорной системы «электронный нос».

Задачи исследования:

1. Провести инструментальную оценку ароматического профиля контролей и опытных образцов хлебобулочной продукции по методологии «электронного носа» и сенсорного массива на основе пьезокварцевых резонаторов.

2. Определить количественные отклики сенсоров (в Гц) на летучие соединения в газовой фазе (РГФ), формирующуюся над контролями и опытными образцами.

3. Вычислить площади «визуальных отпечатков» сигналов сенсоров, отражающих суммарную интенсивность ароматов каждого из образцов.

4. Сравнить «визуальные отпечатки» сенсорных сигналов опытных образцов с соответствующими контролями для выявления различий в составе и концентрации ЛОС.

5. Провести нормированный анализ сенсорных данных для оценки вклада различных групп летучих веществ (вода, спирты, кетоны, амины и пр.) в общий ароматический профиль исследуемых образцов.

6. Установить закономерности влияния отдельных добавок (ксантана и капустного порошка) на изменение ароматической насыщенности продуктов в зависимости от типа муки (рисовая или кукурузная).

Методы

Инструментальная оценка запаха представленных образцов проведена на лабораторном анализаторе газов «МАГ-8» по методологии «электронный нос» (производство Россия) на основе 8-ми сенсоров [1], [7].

В исследовании применены сенсоры на основе пьезокварцевых резонаторов ОАВ-типа с базовой частотой колебаний 10,0-14,0 МГц с разнохарактерными пленочными и наноструктурированными сорбентами на электродах [2], [8]. Покрытия выбраны в соответствие с задачей испытаний для детектирования ЛОС пищевых объектов. Порядок установки сенсоров (S) выбран от сильно полярных до менее полярных сорбентов, влияет только на форму итоговых интегральных многомерных аналитических сигналов, но не на результаты эксперимента:

S 1 — Поливинилпирролидон, ПВП;

S 2 — Прополис, пчелиный клей, ПЧК;

S 3 — Дициклогексан-18-Краун-6, ДЦГ18К6;

S 4 — Гидроксиапатит, ГА;

S 5 — Полиэтиленгликоль ПЭГ-2000, ПЭГ-2000;

S 6 — Полиэтиленгликоль себацинат, ПЭГСб;

S 7 — Полиэтиленгликоль сукцинат, ПЭГС;

S 8 — Тритон X-100, TX100.

Результаты исследования

В качестве контролей использовали ранее разработанные безглютеновые хлебобулочные изделия:

- контроль 1 — из рисовой и льняной муки (70:30) с добавлением 3,4% псилиума;
- контроль 2 — кукурузной и льняной муки (50:50) с добавлением 3,4% псилиума [4].

А в качестве опытных исследовали образцы:

- 1.1 — из рисовой и льняной муки (70:30) с добавлением капустного порошка 4%;
- 1.2 — из рисовой и льняной муки (70:30) с добавлением ксантана 0,5%;
- 2.1 — из кукурузной и льняной муки (50:50) с добавлением капустного порошка 5%;
- 2.2 — из кукурузной и льняной муки (50:50) с добавлением ксантана 0,4%.

В таблице 1 представлены исследуемые образцы: безглютеновых композитных смесей без добавок и с ними.

Таблица 1 - Матрица эксперимента

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.159.56.1>

Наименование образцов	Состав композитной смеси	Наименование вводимой добавки, % к массе композитной смеси
Контроль 1	70% рисовой муки + 30% льняной муки	3,4% псилиум
1.1	70% рисовой муки + 30% льняной муки	4% капустный порошок
1.2	70% рисовой муки + 30% льняной муки	0,5% ксантан
Контроль 2	50% кукурузной муки + 50% льняной муки	3,4% псилиум
2.1	50% кукурузной муки + 50% льняной муки	5% капустный порошок
2.2	50% кукурузной муки + 50% льняной муки	0,4% ксантан

В ходе эксперимента было проведено сравнение количественного и качественного фракционного состава летучих соединений в образцах. Данный метод представляет собой инновационный подход, направленный на выявление различий в составе и концентрации легкоиспаряемых (летучих) органических соединений. Использование анализа первичных данных, поступающих от сенсорных элементов, а также обработка интегрального количественного сигнала, формируемого системой «электронного носа», позволяет применять эти технологии в качестве эффективного инструмента для мониторинга качества и обеспечения безопасности пищевой продукции. Подобные методы способствовал не только обнаружению отклонений в характеристиках продукта, но и играл важную роль в процессе его совершенствования и адаптации к установленным стандартам пищевой безопасности и потребительского качества.

Проведение экспериментальных исследований с применением таких технологий даёт возможность более точно контролировать органолептические параметры продуктов, что особенно актуально в условиях современного производства. Для того чтобы выявить отличия в составе и концентрации летучих органических соединений в газовой фазе, формирующейся над хлебобулочными изделиями, применялся сравнительный анализ поверхностей, образованных так называемыми «визуальными отпечатками» максимальных сенсорных откликов. Эти графические отпечатки позволяют наглядно оценить различия между образцами, основываясь на совокупности сигналов, поступающих от различных сенсоров в составе электронной системы. Такой подход даёт объективные данные для последующего анализа и принятия решений в процессе разработки и производства продуктов питания (таблица 2).

Таблица 2 - Отклики сенсоров в парах РГФ над образцами и площади «визуального отпечатка» максимальных сигналов сенсоров

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.159.56.2>

Наименование образцов	Сенсоры (S)								
	S1, Гц	S2, Гц	S3, Гц	S4, Гц	S5, Гц	S6, Гц	S7, Гц	S8, Гц	S1, Гц
Контроль 1	72	66	63	16	45	19	13	34	5172
1.1	64	72	66	17	47	20	12	31	5238
1.2	51	59	63	16	39	19	14	29	3977
Контроль 2	65	63	87	14	41	18	14	30	5207

Наименование	Сенсоры (S)								
	S1, Гц	S2, Гц	S3, Гц	S4, Гц	S5, Гц	S6, Гц	S7, Гц	S8, Гц	S1, Гц
2.1	57	63	70	16	35	15	14	27	4360
2.2	49	61	52	19	47	19	14	34	4010

Примечание: $V_{p\phi} = 3 \text{ см}^3$ за 60 с нагрузки

Анализ представленных образцов позволял решить сразу несколько задач. В первую очередь можно оценить, как добавление таких ингредиентов, как ксантан и писилиум, влиял на ароматические характеристики изделий. Кроме того, важно исследовать влияние типа основы — рисовой или кукурузной — на состав и интенсивность аромата. Для объективной интерпретации полученных результатов необходимо проводить сравнение каждого опытного образца с соответствующим контролем. Дополнительные исследовательские задачи могут быть сформулированы и решены самостоятельно на основе представленных экспериментальных данных. Далее рассмотрим, какие изменения происходят в составе ароматических веществ внутри каждой группы изделий.

В группе на основе рисовой муки, у образцов наблюдались чёткие различия в интенсивности аромата, что указывает на отличия в составе летучих органических соединений. Так, образец 2, в которую был введён ксантан, продемонстрировала заметно меньшую ароматическую насыщенность по сравнению с контролем, а также с опытным образцом, в состав которой входила капуста. Разница по снижению интенсивности составила 23,1%, что свидетельствует о значительном влиянии ксантана на снижение количества и/или концентрации летучих компонентов, формирующих запах.

В группе на основе кукурузной муки также выявлены различия, однако они проявляются несколько иначе. По сравнению с контролем, включение в состав капусты и ксантана также приводит к снижению ароматической насыщенности. В частности, образец 1 показал уменьшение интенсивности аромата на 16,3%, а образец 3 — на 23,0%. Таким образом, можно утверждать, что введение ксантана оказывает выраженное негативное влияние на аромат продукта в обеих исследуемых группах, снижая концентрацию летучих соединений.

Общее наблюдение заключалось в том, что независимо от используемой основы — рисовой или кукурузной — добавление ксантана приводит к значительному снижению интенсивности аромата изделий. Это могло быть связано с физико-химическими свойствами ксантана, влияющими на выделение летучих веществ.

Для более глубокого анализа был проведён сравнительный обзор количественного и качественного фракционного состава летучих органических соединений, присутствующих в атмосфере над испытуемыми образцами. С этой целью отслеживались изменения в составе по относительному содержанию основных классов летучих соединений, на которые были откалиброваны сенсоры в используемом массиве. Для получения объективных результатов был применён метод нормировки, данные по которому представлены в таблице 3.

Кроме того, с помощью метода нормировки была рассчитана доля вклада откликов сенсоров с различными покрытиями в совокупный аналитический сигнал. Эти расчёты позволили уточнить природу соединений, оказывающих наибольшее влияние на формирование аромата изделий, а также выявить фракции, вносящие основной вклад в композицию летучих веществ, регистрируемых над каждым образцом.

Таблица 3 - Относительное содержание групп ЛОС в РГФ над образцами по значимым сигналам сенсоров

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.159.56.3>

Наименование образцов	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
	Вода, все полярные соединения	Спирты, альдегиды, амины	Органич. полярные соединения, кислоты	Все полярные, амины	Кетоны, спирты	Амины, другие N-содержащие соединения	Средне-полярные, S-, N-содержащие соединения	Вода, все полярные соединения
Контроль 1	21,95	20,12	19,21	4,88	13,72	5,79	3,96	10,37
1	19,45	21,88	20,06	5,17	14,29	6,08	3,65	9,42
3	17,59	20,34	21,72	5,52	13,45	6,55	4,83	10,00
Контроль 2	19,58	18,98	26,20	4,22	12,35	5,42	4,22	9,04
2	19,19	21,21	23,57	5,39	11,78	5,05	4,71	9,09
4	16,61	20,68	17,63	6,44	15,93	6,44	4,75	11,53

Примечание: $\omega (\pm 0,03-3,0) \text{ % масс}$

Как видно из данных, представленных в таблице 3, блоки хлебобулочных изделий производят эффект в составе летучих соединений (ЛС) различных классов в газофазном пространстве (РГФ), что указывает на их естественное состояние, разнообразие и характер особенностей рецептурного состава. Используемые добавки по-разному влияют на состав РГФ в образцах, изготовленных на основе рисовой и кукурузной муки. Приведенные изменения в образцах на основе кукурузы выражены более существенно по сравнению с рисовыми аналогами. Существенное воздействие на состав ЛС в следующих группах воздействия ксантана — его введение приводит к заметному снижению содержания влаги и аминов. Прочие изменения можно подробно отслеживать, опираясь на данные таблицы 3.

Совокупные многомерные сигналы от всех датчиков, представляющие собой «визуальные отпечатки» — как максимальные, так и кинетические срабатывания датчиков в течение 60 секунд воздействия парами образцов — отражают как количественные характеристики содержания летучих веществ в РГФ, так и степень относительности их состава. Для наглядного сравнения приведем квадрат и схему аналитических сигналов (А.С.) датчиков в РГФ над различными образцами (см. рисунок 1). Для каждого образца в едином масштабе представлены круговые диаграммы максимальных сенсорных откликов, что позволяет одновременно оценивать, как качественный состав (по форме диаграммы), так и количественное наполнение смесей летучими соединениями (по площади), диффундирующими из соответствующих образцов.

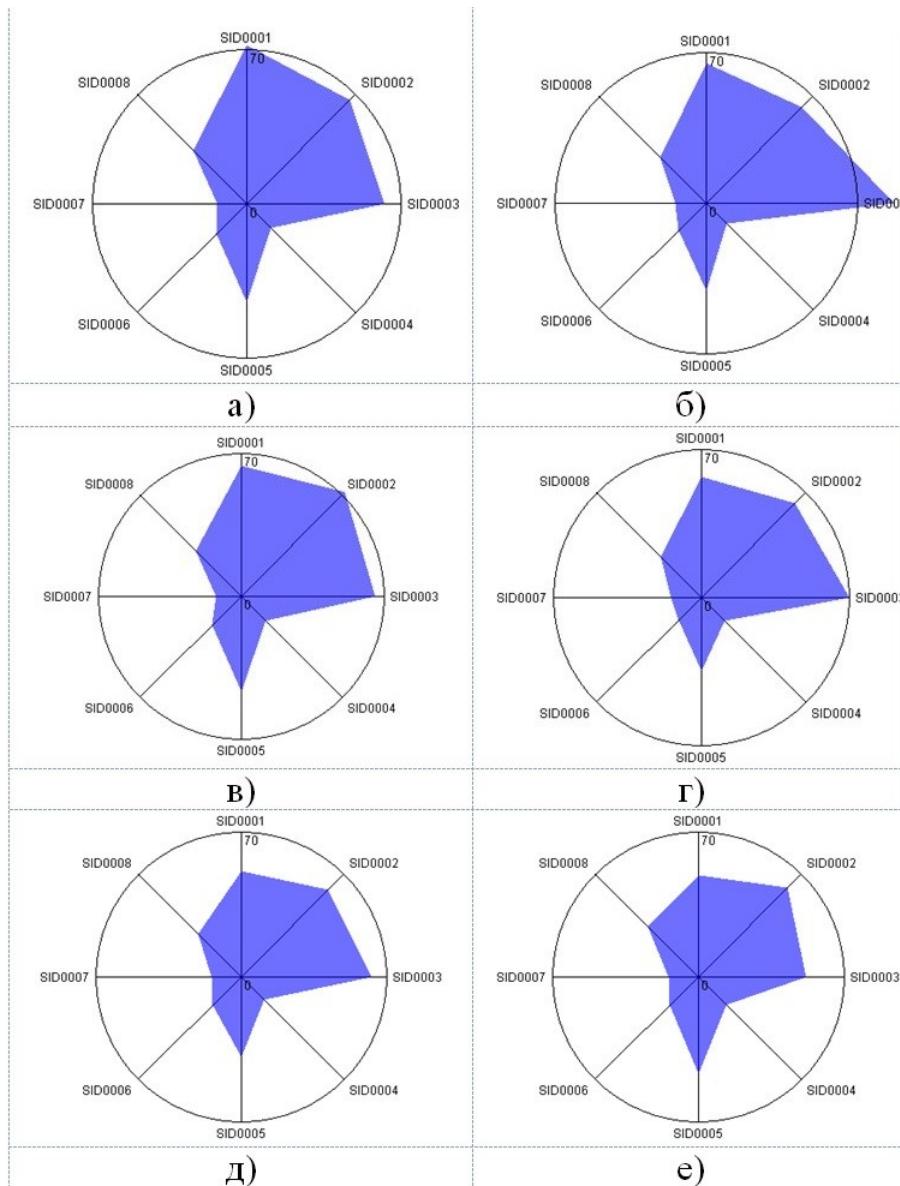


Рисунок 1 - «Визуальные отпечатки» максимальных сигналов сенсоров в РГФ над образцами
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.159.56.4>

Примечание: а – контроль 1; б – контроль 2; в – 1; г – 3; д – 2; е – 4

Установлено, что состав смесей летучих соединений в некоторых образцах заметно выражен, что свидетельствует о различиях в рецептуре индивидуальных изделий. На рисунке 2 красного цвета выделены основные различия. Чем

выше точность в местах сенсорных откликов, тем сильнее различаются ароматические профили сравниваемых образцов.

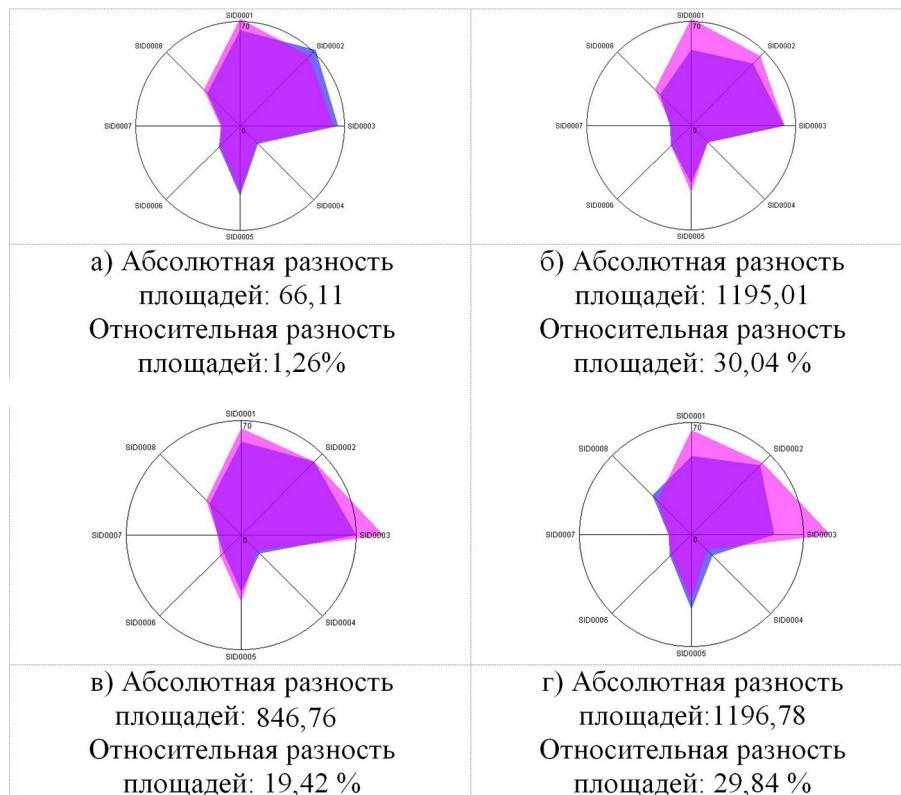


Рисунок 2 - Сравнение визуальных отпечатков максимальных (ВО) анализируемых образцов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.159.56.5>

Примечание: а – 1 (синий) контроль 1 (фиолетовый); б – 3 (синий) контроль 1 (фиолетовый); в – 2 (синий) контроль 2 (фиолетовый); г – 3 (синий) контроль 2 (фиолетовый)

Еще более наглядная картина в составе летучих соединений дает нормированные данные по сигналу четвертого датчика, обладающего наименьшей чувствительностью в анализируемом РГФ (рисунок 2). Такой способ нормализации сигналов используется как прием внутренней корректировки обнаруженных откликов, нивелируя возможные погрешности, возникающие при отборе проб. В случае идентичности состава и природы полярных измерений в РГФ нормированные «отпечатки» совпадут. Из окончательного анализа были исключены данные по датчикам 4 и 7, так как их срабатывание производилось по сравнению с другими датчиками.

Выводы

1. Отмечено, что выбранный метод электронный нос «МАГ-8» позволяет надежно фиксировать как количественные, так и качественные различия в составе ароматических веществ и показал высокую эффективность для анализа летучих соединений в безглютеновых образцах.

2. Установлено, что сенсорные отклики различались в зависимости от компонентного состава образцов, а именно образцы с ксантаном показали снижение сигналов, особенно по сенсорам, чувствительным к водорастворимым и аминогрупповым соединениям.

3. Выявили площади визуальных отпечатков, подтвердили снижение ароматической насыщенности у образцов с ксантаном. Наибольшее отличие от контроля зафиксировано у образцов 3 и 4.

4. Сравнение отпечатков показало, что ксантан снижает аромат сильнее, чем капустный порошок. Разница с контролем достигает 30%, что указывает на значительное влияние добавки.

5. Нормировка данных выявила снижение содержания полярных соединений и аминов при введении ксантана. Капустный порошок сохраняет более сбалансированный профиль ЛОС.

6. Установлено, что влияние добавок зависит от типа муки. В кукурузных смесях изменения выражены сильнее, чем в рисовых.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило высокую чувствительность и эффективность применения технологии «электронный нос» для анализа ароматического профиля безглютеновых хлебобулочных изделий. Выявлено, что ксантановая камедь существенно снижает интенсивность аромата, в то время как капустный порошок оказывает менее выраженное воздействие. Тип муки оказывает дополнительное влияние на выраженность эффектов, что необходимо

учитывать при оптимизации рецептурных составов. Представленный метод может служить основой для дальнейших исследований в области контроля качества и улучшения органолептических характеристик пищевых продуктов.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Кучменко Т.А. Применение системы искусственного обоняния для мониторинга состояния хлебобулочных изделий / Т.А. Кучменко, Ю.Н. Босикова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. — 2019. — Т. 81, № 3(81). — С. 125–131.
2. Кучменко Т.А. Применение методики «электронный нос» для оценки качества пищевого этанола / Т.А. Кучменко, С.Ю. Никитина, О.Б. Рудаков [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. — 2015. — № 1. — С. 26–35.
3. Парахина О.И. Разработка безглютеновой смеси для хлебобулочных изделий / О.И. Парахина, Л.И. Кузнецова, О.А. Савкина [и др.] // Инновационные технологии обработки и хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов. — 2020. — С. 302–308.
4. Патент № 2825452 С1 Российская Федерация, МПК A21D 13/066, A21D 13/045, A21D 13/047. Формовой безглютеновый хлеб: № 2024100998: заявл. 16.01.2024; опубл. 26.08.2024 / А.И. Соловьева, Д.А. Брагина, Г.Е. Рысмухамбетова [и др.]; заявитель ООО «САР ПАНЕМ». — EDN СМЕНЕМ.
5. Capannolo A. Italian consumers' attitude towards gluten-free products: an online survey / A. Capannolo, D. Zauli, L. Sabbatella [et al.] // Food Science & Nutrition. — 2015. — Vol. 3, № 5. — P. 653–659. DOI: 10.1002/fsn3.243
6. Gobbetti M. How to improve the gluten-free diet: the state of the art from a food science perspective / M. Gobbetti, C.G. Rizzello, R. Di Cagno [et al.] // Food Research International. — 2018. — Vol. 110. — P. 22–32. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.11.042
7. Kuchmenko T.A. A Perspective on Recent Advances in Piezoelectric Chemical Sensors for Environmental Monitoring and Foodstuffs Analysis / T.A. Kuchmenko, L.B. Lvova // Chemosensors. — 2019. — Vol. 7, Iss. 3. — P. 39–45. DOI: 10.3390/chemosensors7030039
8. Kuchmenko T.A. Electronic nose based on nanoweights, expectation and reality / T.A. Kuchmenko // Pure and Applied Chemistry. — 2017. — Vol. 89, Iss. 10. — P. 1587–1601.
9. Lebwohl B. Coeliac disease / B. Lebwohl, D.S. Sanders, P.H. Green // The Lancet. — 2018. — Vol. 391, № 10115. — P. 70–81. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31796-8
10. Spence C. Multisensory flavour perception / C. Spence // Cell. — 2015. — Vol. 161, № 1. — P. 24–35. DOI: 10.1016/j.cell.2015.02.043

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kuchmenko T.A. Primenenie sistemy iskusstvennogo obonyaniya dlya monitoringa sostoyaniya khlebobulochnykh izdeliy [Application of an artificial olfactory system for monitoring the condition of bakery products] / T.A. Kuchmenko, Yu.N. Bosikova // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies]. — 2019. — Vol. 81, № 3(81). — P. 125–131. [in Russian]
2. Kuchmenko T.A. Primenenie metodiki «elektronnyy nos» dlya otsenki kachestva pishchevogo etanola [Application of the "electronic nose" technique for assessing the quality of food ethanol] / T.A. Kuchmenko, S.Yu. Nikitina, O.B. Rudakov [et al.] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy]. — 2015. — № 1. — P. 26–35. [in Russian]
3. Parakhina O.I. Razrabotka bezglyutenovoy smesi dlya khlebobulochnykh izdeliy [Development of a gluten-free mixture for bakery products] / O.I. Parakhina, L.I. Kuznetsova, O.A. Savkina [et al.] // Innovatsionnye tekhnologii obrabotki i khraneniya sel'skokhozyaystvennogo syr'ya i pishchevykh produktov [Innovative technologies for processing and storing agricultural raw materials and food products]. — 2020. — P. 302–308. [in Russian]
4. Patent No. 2825452 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A21D 13/066, A21D 13/045, A21D 13/047. Formovoy bezglyutenovyy khleb: No. 2024100998: zayavl. 16.01.2024; opubl. 26.08.2024 [Molded gluten-free bread: application No. 2024100998: filed 16.01.2024; published 26.08.2024] / A.I. Solov'yeva, D.A. Bragina, G.E. Rysmukhametova [et al.]; applicant SAR PANEM LLC. — EDN СМЕНЕМ. [in Russian]
5. Capannolo A. Italian consumers' attitude towards gluten-free products: an online survey / A. Capannolo, D. Zauli, L. Sabbatella [et al.] // Food Science & Nutrition. — 2015. — Vol. 3, № 5. — P. 653–659. DOI: 10.1002/fsn3.243
6. Gobbetti M. How to improve the gluten-free diet: the state of the art from a food science perspective / M. Gobbetti, C.G. Rizzello, R. Di Cagno [et al.] // Food Research International. — 2018. — Vol. 110. — P. 22–32. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.11.042

7. Kuchmenko T.A. A Perspective on Recent Advances in Piezoelectric Chemical Sensors for Environmental Monitoring and Foodstuffs Analysis / T.A. Kuchmenko, L.B. Lvova // Chemosensors. — 2019. — Vol. 7, Iss. 3. — P. 39–45. DOI: 10.3390/chemosensors7030039
8. Kuchmenko T.A. Electronic nose based on nanoweights, expectation and reality / T.A. Kuchmenko // Pure and Applied Chemistry. — 2017. — Vol. 89, Iss. 10. — P. 1587–1601.
9. Lebwohl B. Coeliac disease / B. Lebwohl, D.S. Sanders, P.H. Green // The Lancet. — 2018. — Vol. 391, № 10115. — P. 70–81. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31796-8
10. Spence C. Multisensory flavour perception / C. Spence // Cell. — 2015. — Vol. 161, № 1. — P. 24–35. DOI: 10.1016/j.cell.2015.02.043