ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2461
https://elibrary.ru/WBFATX

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Изотопная масс-спектроскопия как инструмент идентификации томатов (*Solanum lycopersicum* L.)

Л. А. Оганесянц, А. Л. Панасюк, Е. И. Кузьмина, Д. А. Свиридов, М. Ю. Ганин*, А. А. Шилкин

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 23.03.2023
Принята после рецензирования: 15.06.2023
Принята к публикации: 04.07.2023

**М. Ю. Ганин: labvin@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-0518-1181*
Л. А. Оганесянц: https://orcid.org/0000-0001-8195-4292
А. Л. Панасюк: https://orcid.org/0000-0002-5502-7951
Е. И. Кузьмина: https://orcid.org/0000-0001-7623-440X
Д. А. Свиридов: https://orcid.org/0000-0002-5595-0455
А. А. Шилкин: https://orcid.org/0000-0003-1223-0703

© Л. А. Оганесянц, А. Л. Панасюк, Е. И. Кузьмина, Д. А. Свиридов, М. Ю. Ганин, А. А. Шилкин, 2023

Аннотация.
Томаты (*Solanum lycopersicum* L.) относятся к наиболее популярным овощным культурам. Увеличивающимся спросом, в том числе у российского потребителя, пользуются томаты, отмеченные знаком «органик». Однако сельскохозяйственная отрасль испытывает недостаток инструментальных методов анализа, способных подтвердить «органический» способ производства продукции. Перспективным методом, способным выявить фальсификат среди органической продукции, является метод изотопной масс-спектрометрии. Цель исследования заключалась в оценке возможности использования значений изотопных характеристик общего азота и общего углерода томатов для установления идентификационных критериев для продукции, выращенной в открытом грунте или в теплицах в атмосфере, которая обогащена диоксидом углерода.
Объектами исследования являлись 16 образцов томатов, 14 из которых были приобретены в российских торговых сетях. 2 образца были выращены в открытом грунте без использования химических удобрений. Состав стабильных изотопов углерода и азота в образцах определяли с использованием изотопного масс-спектрометра IRMS Delta V Advantage с дополнительными вспомогательными модулями.
Выявили, что томаты, выращенные в теплицах с атмосферой, которая обогащена диоксидом углерода, имеют диапазон значений показателя $\delta^{13}C$ от –44 до –32 ‰, а в обычной теплице от –30 до –24 ‰. Установлено, что 6 из 16 исследованных образцов томатов относятся к продукции, выращенной в условиях искусственного обогащения атмосферы диоксидом углерода. 3 образца имеют пограничные значения показателей $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$, идентификация которых затруднена как по использованию обогащения искусственным диоксидом углерода, так и по типу вносимых удобрений.
Метод изотопной масс-спектрометрии является мощным инструментом при выявлении фальсифицированной органической продукции. Изотопные характеристики общего углерода в томатах, выращенных в атмосфере с искусственным обогащением углекислым газом, имеют более низкие значения в сравнении с натуральной органической продукцией. Полученные значения позволяют сделать вывод об органической или химической природе удобрений.

Ключевые слова. Томаты, изотопная масс-спектрометрия, изотопы углерода, изотопы азота, идентификация, место происхождения, фальсификация, растениеводство

Для цитирования: Изотопная масс-спектроскопия как инструмент идентификации томатов (*Solanum lycopersicum* L.) / Л. А. Оганесянц [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 3. С. 612–620. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2461

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2461
https://elibrary.ru/WBFATX

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Isotope Mass Spectrometry as a Tool for Identifying Organic Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.)

Lev A. Oganesyants, Alexander L. Panasyuk, Elena I. Kuzmina, Dmitry A. Sviridov, Mikhail Yu. Ganin*, Alexei A. Schilkin

All-Russian Research Institute of Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry, Moscow, Russia

Received: 23.03.2023
Revised: 15.06.2023
Accepted: 04.07.2023

**Mikhail Yu. Ganin: labvin@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-0518-1181*
Lev A. Oganesyants: https://orcid.org/0000-0001-8195-4292
Alexander L. Panasyuk: https://orcid.org/0000-0002-5502-7951
Elena I. Kuzmina: https://orcid.org/0000-0001-7623-440X
Dmitry A. Sviridov: https://orcid.org/0000-0002-5595-0455
Alexei A. Schilkin: https://orcid.org/0000-0003-1223-0703

© L.A. Oganesyants, A.L. Panasyuk, E.I. Kuzmina, D.A. Sviridov, M.Yu. Ganin, A.A. Schilkin, 2023

Abstract.
Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) are one of the most popular vegetables in the world. These days, Russian consumers prefer tomatoes labeled as organic. However, the agricultural industry often lacks instrumental methods to confirm the organic status of tomatoes. Isotope mass spectrometry is a promising method that can detect tomatoes that fail to meet organic standards. Isotopic values of total nitrogen and total carbon can be used to identify tomatoes as those grown on the field or as those cultivated in greenhouses enriched with carbon dioxide.
The research featured 16 samples of tomatoes, 14 of which were purchased in Russian retail chains. Two samples were grown on the field without chemical fertilizers. The composition of stable carbon and nitrogen isotopes in the samples was determined using an IRMS Delta V Advantage isotope mass spectrometer with additional auxiliary modules.
In the greenhouse tomatoes, $\delta^{13}C$ values ranged from –44 to –32‰. In the samples obtained from a conventional greenhouse, $\delta^{13}C$ values ranged from –30 to –24‰. Six samples proved to have been grown in artificial carbon dioxide atmosphere. Three samples demonstrated borderline values of $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$; they were impossible to identify as organic or conventional, both in terms of artificial carbon dioxide and fertilizers.
Isotope mass spectrometry proved to be efficient in detecting falsified organic products. Tomatoes grown with carbon dioxide enrichment had lower isotope values of total carbon than organic tomatoes. The obtained values also made it possible to tell between organic and chemical fertilizers.

Keywords. Tomatoes, isotope mass spectrometry, isotopes of carbon, oxygen, hydrogen, identification, place of origin, falsification, plant cultivation

For citation: Oganesyants LA, Panasyuk AL, Kuzmina EI, Sviridov DA, Ganin MYu, Schilkin AA. Isotope Mass Spectrometry as a Tool for Identifying Organic Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(3):612–620. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2461

Введение

Томаты (*Solanum lycopersicum* L.) являются одними из самых популярных и повсеместно распространенных овощных культур в мире. Объемы их производства и потребления постоянно растут: за последние 30 лет объем производства томатов на мировом рынке увеличился в 3 раза. В среднем производительность на 1 м^2 составляет 3,7 кг. Крупнейшими мировыми производителями томатов являются Китай и Индия, хотя урожайность в Индии довольно низкая – менее 2,5 кг на 1 м^2. Это контрастирует с показателями США (9,03 кг на 1 м^2), Испании (8,62 кг на 1 м^2) и Марокко (8,08 кг на 1 м^2). Самый высокий урожай собирают в Голландии – в среднем 50,7 кг на 1 м^2 [1].

До сих пор нет единого мнения, к какому виду культур относятся томаты. В быту их считают овощами, но плоды растут на лозе и выращиваются из семечек, поэтому их можно отнести к ягодам. В 2001 г. Евросоюз принял регламент, в котором помидоры были отнесены к фруктам. Но к какому бы ботаническому виду не относился томат, его особая

биологическая ценность признается повсеместно. В состав томатов входят сахара (фруктоза и глюкоза) и минеральные вещества: йод, калий, фосфор, бор, магний, натрий, марганец, кальций, железо, медь и цинк. Помидоры богаты витаминами А, В, B_2, B_6, С, Е, К, РР и бета-каротином. Процент содержания этих витаминов находится в прямой зависимости от спелости томатов: чем они спелее и краснее, тем полезнее [2].

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации объединенных наций (FAOSTAT), под посадки томатов выделено более 5 млн га. Около 60 % всей площади относится к защищенному грунту: стеклянным и пленочным теплицам, межсезонным парникам и укрытиям. Во многих странах мира отрасль защищенного грунта занимает ведущее место в производстве других овощей. По прогнозам ряда специалистов, в будущем в развитых странах растениеводство почти полностью перейдет на технологии выращивания большинства сельскохозяйственных культур в защищенном грунте с использованием теплиц. Однако они не учитывают изменения в запросах покупателей, которые проявляют интерес к органической продукции.

Существует большое количество методов и систем ведения сельского хозяйства. Среди них выделяют два подхода: обычный (общепринятый) и органический (природный).

Общепринятый или интенсивный способ ведения сельского хозяйства берет свое начало в 1840 г., когда был опубликован труд «Химия, примененная к земледелию» немецкого ученого Юстуса фон Либиха – одного из основателей агрохимии и создателя системы химического образования. Либих в своем труде доказал, что для питания растениям необходимы только минеральные элементы, которые они берут из почвы, обосновал теорию истощения почв из-за выноса питательных веществ растениями и показал необходимость возврата этих веществ в виде минеральных удобрений. Ученый утверждал, что растение может нормально развиваться без добавления питательных веществ органического происхождения, т. е. состоящих из растительных и животных остатков. Теория Либиха на долгие годы определила развитие сельского хозяйства во всем мире. Началась интенсивная химизация сельского хозяйства и связанные с ней технологии возделывания земли.

На сегодняшний день сложилась система ведения хозяйства, основанная на глубокой вспашке, внесении минеральных удобрений, монокультуре, применении пестицидов для борьбы с вредителями, гербицидов для борьбы с сорной растительностью и т. д. Разработаны целые комплексы механизмов и машин для обработки почвы. Стали считать, что почва – это набор химических элементов, а для поддержания ее плодородия достаточно вносить необходимое количество определенных минеральных удобрений. Следовательно, количество вносимой органики уменьшилось. Новые методы ведения сельского хозяйства способствовали увеличению количества сельхозпродукции и позволили накормить все возрастающее население. В то же время наметились отрицательные тенденции: истощение и эрозия почв, химизация, вмешательство человека в природный цикл, зависимость урожая от минеральных удобрений, заражение окружающей среды пестицидами и гербицидами, неблагоприятное воздействие на здоровье человека и животных, а также окружающую среду.

Второй подход – органический или природный, иногда его называют экологическим, поскольку основной его идеей является не только получение полезных продуктов питания, но и сохранение окружающей среды. Сторонники этого способа ведения сельского хозяйства стараются следовать законам природы и моделировать природные процессы у себя на грядках, полях. Они применяют смешанные посадки для достижения симбиоза и защиты растений от вредителей, используют микроорганизмы, микробиологические препараты и материалы растительного, животного и естественного минерального происхождения, но не синтезированные химические вещества, отказываются от ядохимикатов. [3].

Органические методы ведения сельского хозяйства позволяют восстановить почву и поддерживать ее плодородие, не наносить вреда человеку и природе, т. к. не используются химические вещества, а производимая продукция имеет природный вкус и запах, а также лучше сохраняется. Несмотря на очевидные плюсы, органическое земледелие имеет свои минусы. Это более низкая продуктивность, более высокая цена продуктов, сезонность и ручной труд, поскольку для этого вида хозяйствования нет серийных машин и агрегатов [3].

Органически выращенные продукты с каждым днем становятся все более популярными, в том числе у российского населения, из-за их полезности, безопасности и преимуществ используемых методов ведения сельского хозяйства, которые являются более экологичными.

В России Федеральный закон № 280-ФЗ «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» был подписан 3 августа 2018 г. и вступил в силу 1 января 2020 г. Документ вводит запрет на применение агрохимикатов небиологического происхождения, пестицидов и стимуляторов роста, за исключением тех, которые разрешены к применению действующими национальными, межгосударственными и международными стандартами в сфере производства органической продукции. Производство органической продукции несовместимо с гидропонным методом выращивания растений [4].

«Органическими» являются продукты, при производстве которых был исключен ряд вредных обработок, включающий в себя использование ГМО, пестицидов, антибиотиков и гормонов роста, а также внесение химических удобрений. Одной из проблем в органическом сельском хозяйстве являются ГМО. В Европе используются два метода определения присутствия ГМО: иммуноферментный анализ, связанный с ферментом (ELISA), который идентифицирует белки, и метод ПЦР (полимеразной цепной реакции). Эти методы позволяют обнаружить присутствие ГМО, но не дают ответа на вопрос об органической природе данной продукции.

Системы органического земледелия отличаются от своих традиционных аналогов запретом на использование пестицидов и синтетических азотных удобрений. Исследования показали, что содержание остатков пестицидов в органических растительных продуктах ниже, чем в обычных [5]. Однако выборочное тестирование остатков пестицидов не может доказать, что растение было выращено без применения пестицидов, т. к. анализ охватывает небольшой диапазон большого количества пестицидов, регулярно используемых в сельском хозяйстве. Концентрации остаточных количеств пестицидов часто ниже аналитических пределов обнаружения даже в обычных продуктах растительного происхождения. Поэтому необходимо улучшить существующие процедуры аутентификации путем применения новых аналитических методов.

Декларирование высокого качества и натуральности продукции должно подкрепляться результатами анализа, проведенного с помощью надежных инструментальных методов. Одним из перспективных направлений в решении этой задачи является изотопная масс-спектрометрия. Данные литературных источников показывают, что предлагаемый подход может быть использован в качестве надежного инструмента при анализе различных видов пищевых продуктов [6–12]. Учеными показана возможность использования данного метода для выявления способа сельскохозяйственного производства различных видов как органической, так и обычной овощной и зеленой продукции. Кроме того, метод изотопной масс-спектрометрии может быть использован для установления природы используемых азотных удобрений, что является важным условием производства органической продукции [13–18]. В работе зарубежных ученых W.-J. Choi и др. с целью изучения использования показателя $\delta^{15}N$ в качестве маркера органических веществ была исследована разница в естественном содержании ^{15}N в почвах с внесением химических удобрений и в площадях, куда вносили компост [18]. Учеными было изучено около 20 образцов. Результаты показали, что длительное применение компоста привело к обогащению почв и растений азотом ^{15}N по сравнению с использованием химических удобрений. Это исследование показало, что $\delta^{15}N$ может служить индикатором применения органических удобрений. Тем не менее авторы утверждают, что необходимо провести дальнейшие исследования в других условиях, чтобы подготовить надежные рекомендации по значениям $\delta^{15}N$ для органических продуктов, поскольку на значения $\delta^{15}N$ неорганического азота почвы и растений влияют различные факторы, такие как тип почвы, виды растений и скорость циркуляции азота, а также процессы минерализации, нитрификации и денитрификации.

Исходя из ряда литературных источников, существуют различия в качестве овощей, в том числе томатов, выращенных в теплицах или в условиях открытого грунта [13, 19, 20]. В современной практике агрономы все чаще стали прибегать к искусственному обогащению атмосферы теплицы диоксидом углерода, который используется в качестве компонента для роста томатов и ускорения процесса фотосинтеза. Это приводит к большей продуктивности растений, ее повышение может составлять 40–50 %. Однако, быстро набирая вес и необходимый товарный размер, томаты не достигают полной физиологической зрелости, что отрицательно сказывается на накоплении сахаров, ароматических веществ и других компонентов, обеспечивающих их вкусовые свойства. Искусственное обогащение тепличного воздуха углекислым газом можно определить, используя следующую особенность его изотопного состава. Диоксид углерода, полученный в промышленных масштабах из нефти и газа, в частности при сгорании метана, имеет более низкие значения изотопных характеристик входящего в его состав углерода, чем те же значения в атмосферном углекислом газе. Как следствие, овощи (томаты), выращенные в открытом грунте или в обычной теплице, отличаются по изотопным характеристикам общего углерода от продукта, полученного в искусственной атмосфере.

Также свой вклад вносит фотосинтетическая ассимиляция диоксида углерода, когда относительная концентрация стабильных изотопов углерода $\delta^{13}C_{CO2}$ в растениях изменяется в результате дискриминации C^{13} в пользу C^{12} [20, 21]. В результате растительный материал имеет более легкие изотопные характеристики углерода, чем атмосферный углекислый газ, что соответствует отрицательным значениям $\delta^{13}C$ в растительном материале.

Целью исследования была оценка возможности использования значений изотопных характеристик общего азота и общего углерода томатов для установления способа ведения их сельскохозяйственного производства, включая выявление использования химических азотных удобрений и установление идентификационных критериев

для томатов, выращенных в открытом грунте или в теплицах в атмосфере, которая обогащена диоксидом углерода.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись 16 образцов томатов, часть из которых была приобретена в российских торговых сетях, а часть выращена в открытом грунте без использования химических удобрений специально для исследования.

Состав стабильных изотопов углерода и азота в образцах определяли на изотопном масс-спектрометре для анализа стабильных изотопов легких элементов IRMS Delta V Advantage. Пробоподготовка заключалась в дроблении пробы в блендере до пюрообразного состояния и удалении влаги при помощи леофильной сушки Zirbus Vaco 2 Germany в течение суток. Затем высушенная проба перетиралась в ступке до порошкообразного состояния, после чего навеску массой 0,4–0,6 мг вносили в оловянную капсулу. Капсулу герметично закрывали с помощью пинцета. Для каждого образца подготавливали 3 капсулы, которые помещали в автосамплер для твердых проб MAS200 элементного анализатора Flash EA Isolink. Капсулированные образцы сжигались в окислительно-восстановительном реакторе при температуре 1000 °C в потоке кислорода и газа-носителя (гелия) до азота и диоксида углерода. В качестве окислителей использовали химически чистые соединения Cr_2O_3 и CuO, в качестве восстановителя – металлическую медь (Cu). Далее полученные газы N_2 и CO_2 проходили через набивную колонку и интерфейс ConFlowIV, после чего поступали в ионный источник изотопного масс-спектрометра, где проводился анализ изотопных отношений. Регистрацию и обработку результатов измерений проводили с помощью высокоуровневого программного пакета Isodat 3.0

Значения изотопного соотношения были выражены в δ, ‰, по формуле:

$$\delta = [(R_{sample} - R_{st})/R_{st}] \times 1000$$

где R_{sample} – изотопное отношение углерода или азота в образце; R_{st} – изотопное отношение углерода или азота в стандарте. Для калибровки прибора использовали международный стандарт кофеина IAEA-600 с паспортными значениями $\delta^{13}C_{VPDB} = -27{,}77 \pm 0{,}043$ ‰ и $\delta^{15}N_{air} = +1{,}00 \pm 0{,}2$ ‰.

Результаты и их обсуждение

Условия окружающей среды (температура и доступность воды, концентрация диоксида углерода в атмосфере, количество загрязнителей воздуха) могут изменять изотопный состав углерода тканей растений. [21]. Исходя из вышеизложенного, можно сгруппировать томаты на тепличные с искусственным обогащением углекислым газом с диапазоном числовых значений изотопных характеристик углерода от –44 до –32 ‰ и без обогащения атмосферы, а также в условиях открытого грунта с диапазоном значений $\delta^{13}C$ от –30 до –24 ‰ (рис. 1).

Изотопная масс-спектрометрия может быть использована для определения природы применяемых удобрений. Один из подходов к определению предложен в работе A. S. Bateman и др., где представлены результаты исследований изотопных характеристик общего азота ряда овощей, включая томаты [16].

Томаты, выращенные в теплице с атмосферой, обогащенной CO_2

Томаты, выращенные в теплице с обычной атмосферой, а также в условиях открытого грунта

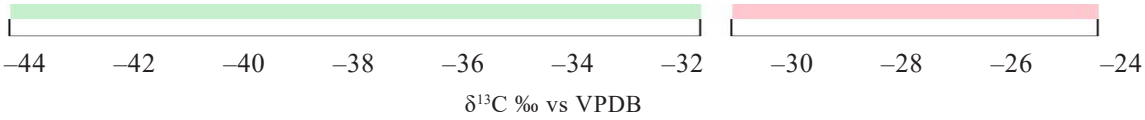

Рисунок 1. Диапазоны значений показателя $\delta^{13}C$ ‰ vs VPDB томатов, выращенных в теплице с атмосферой, обогащенной CO_2, и в теплице с обычной атмосферой, а также в условиях открытого грунта

Figure 1. Value ranges of $\delta^{13}C$ ‰ vs. VPDB for tomatoes grown in a CO_2-enriched greenhouse, in a conventional greenhouse, and on the field

Вид азотсодержащего удобрения и время его внесения в питательную среду влияют на потери азота в результате частичного улетучивания и выщелачивания. Исследования [14, 15] показали, что отношения стабильных изотопов азота могут являться основой системы идентификации для опредения факта внесения химических удобрений при культивировании растений. Овощи, выращенные с такими органическими удобрениями, как торф, осадок сточных вод, навоз и компост, имеют значения изотопных характеристик азота от +8 до +20 ‰ [13, 22]. Овощи, выращенные с использованием химических удобрений, такие как нитратные, аммиачные и амидные, имеют числовые отношения изотопных характеристик азота от 0 до +6 ‰ [13, 14]. Это различие в значениях изотопных характеристик азота происходит в результате улетучивания выделяющегося аммиака, денитрификации, нитрификации и других процессов преобразования азотсодержащих соединений до поглощения растениями [22]. Представленные данные обеспечивают основу для сравнения томатов, выращенных с использованием органических или химических удобрений. Указанные диапазоны распространяются преимущественно на томаты, т. к. в других овощах они могут отличаться. Нужно больше данных и экспериментов, в том числе с использованием российских овощей (рис. 2).

При проведении исследований нами было отобрано и проанализировано 16 проб томатов, купленных в российских супермаркетах или выращенных в условиях открытого грунта в Подмосковье и Владимирской области. Результаты исследований изотопных характеристик углерода и азота приведены в таблице 1.

Как показывают результаты исследований (табл. 1), 6 образцов томатов (№ 1–3, 6, 11 и 12) относятся к тепличной продукции с обогащением атмосферы диоксидом углерода, 7 образцов (№ 4, 5, 7, 10, 13, 15 и 16) – к томатам, выращенным в теплицах без обогащения углекислым газом или в условиях открытого грунта. Если разделить томаты по типу используемых удобрений при культивировании, то образцы № 1, 10, 12, 13, 15 и 16 выращивались с использованием органических удобрений, а образцы № 2–8 и 14 – с использованием химических удобрений. В двух образцах (№ 8 и 9) числовые значения показателя $\delta^{13}C$ приходятся на границу идентификационных диапазонов, а у образца № 11 к границе числового диапазона приближено значение показателя $\delta^{15}N$. Эти значения подпадают под неопределенность, при которой точная идентификация как по использованию обогащения искусственным диоксидом углерода, так и по типу вносимых удобрений затруднена. В этом случае необходимы дополнительные исследования, в том числе с использованием значений изотопных характеристик серы [23, 24].

Результаты показывают, что изотопная масс-спектрометрия может быть перспективным методом для установления способов культивирования овощей, в частности при определении условий выращивания органической продукции.

Выводы

Были определены значения изотопных характеристик общего углерода и общего азота для томатов, выращенных в условиях защищенного грунта (теплице) с обогащением атмосферы диоксидом углерода или без него, а также для томатов, выращенных в условиях открытого грунта, с установлением типа вносимых удобрений. Выявили значимость вариаций полученных изотопных соотношений $^{13}C/^{12}C$ и $^{15}N/^{14}N$, которые согласуются с литературными данными [13–22].

Установлено, что томаты, выращенные в условиях органического производства как в теплице, так и

Рисунок 2. Диапазоны значений $\delta^{15}N$ ‰ томатов, выращенных с использованием органических или химических удобрений

Figure 2. $\delta^{15}N$ ‰ for organic tomatoes vs. chemically fertilized tomatoes

Таблица 1. Значения изотопных характеристик общего углерода и общего азота в томатах

Table 1. Isotopic profile of total carbon and total nitrogen in tomatoes

№	Наименование	$\delta^{13}C$ ‰ vs VPDB	$\delta^{15}N$ ‰ vs Air	Тип выращивания, исходя из полученных результатов	Тип используемых удобрений, исходя из полученных результатов
1	Томаты Черри. Приобретено в торговой сети	–43,53 ± 0,03	11,55 ± 0,19	Теплица с обогащением CO_2	Органические
2	Томаты розовые, завялены как тепличные. Приобретено в торговой сети	–49,88 ± 0,77	2,22 ± 0,30	Теплица с обогащением CO_2	Химические
3	Томаты. Приобретено в торговой сети	–43,50 ± 0,28	2,40 ± 0,57	Теплица с обогащением CO_2	Химические
4	Томаты розовые, Узбекистан. Приобретено в торговой сети.	–25,43 ± 0,63	5,01 ± 0,21	Теплица без обогащения CO_2 или открытый грунт	Химические
5	Томаты розовые. Приобретено в торговой сети	–25,14 ± 0,20	5,52 ± 0,10	Теплица без обогащения CO_2 или открытый грунт	Химические
6	Томаты сливки розовые. Приобретено в торговой сети	–39,14 ± 0,07	2,72 ± 0,26	Теплица с обогащением CO_2	Химические
7	Томаты Pink Paradise, Узбекистан. Приобретено в торговой сети	–28,06 ± 0,63	0,46 ± 0,20	Теплица без обогащения CO_2 или открытый грунт	Химические
8	Томаты, Краснодар. Приобретено в торговой сети	–30,85 ± 0,40	3,84 ± 0,14	Не определено	Химические
9	Томаты, Костромской р-н. Приобретено в торговой сети	–30,25 ± 0,30	6,80 ± 0,57	Не определено	Не определено
10	Томаты сорт первый, розовый, Азербайджан. Приобретено в торговой сети	–28,29 ± 0,57	11,57 ± 0,79	Теплица без обогащения CO_2 или открытый грунт	Органические
11	Томаты, Ленинградская обл., г. Пикалево. Приобретено в торговой сети	–32,41 ± 0,28	6,28 ± 0,93	Теплица с обогащением CO_2	Не определено
12	Томаты, г. Кашира. Приобретено в торговой сети	–33,53 ± 0,63	8,63 ± 1,16	Теплица с обогащением CO_2	Органические
13	Помидоры Бакинские черри. Приобретено в торговой сети	–29,58 ± 0,48	9,42 ± 0,40	Теплица без обогащения CO_2 или открытый грунт	Органические
14	Томаты розовые, Узбекистан. Приобретено в торговой сети	–30,64 ± 0,40	2,83 ± 0,15	Не определено	Химические
15	Томаты, выращенные в условиях открытого грунта, Владимирская область	–29,24 ± 0,13	8,67 ± 0,31	Теплица без обогащения CO_2 или открытый грунт	Органические
16	Томаты, выращенные в условиях открытого грунта, Московская область	–28,24 ± 0,21	10,73 ± 0,25	Теплица без обогащения CO_2 или открытый грунт	Органические

в открытом грунте, имели более высокие значения изотопных характеристик общего азота, чем томаты, при культивировании которых использовали химические удобрения.

Достоверная маркировка овощной продукции как «органической» способствует правильному питанию и поддержанию здоровья потребителей, а обоснование более высокой стоимости, по сравнению с обычной продукцией, дает импульс к расширению ее производства. Для реализации такого подхода необходимо достоверно идентифицировать природу продаваемой продукции.

Критерии авторства

Л. А. Оганесянц – постановка и научное руководство исследованиями. А. Л. Панасюк, Е. И. Кузьмина и Д. А. Свиридов – обзор литературы, подготовка образцов к анализам, обработка результатов исследований. М. Ю. Ганин и А. А. Шилкин – анализ образцов на изотопном масс-спектрометре.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

L.A. Oganesyants organized and supervised the research. A.L. Panasyuk, E.I. Kuzmina, and D.A. Sviridov wrote the review, prepared the samples, and processed the experimental results. M.Yu. Ganin and A.A. Schilkin analyzed the samples with an isotope mass spectrometer.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article

References/Список литературы

1. Survey of the global tomato market [Internet]. [cited 2023 Feb 10]. Available from: https://fruitnews.ru/home/category/analitika/obzor-mirovogo-rynka-tomatov.html

2. Regions in Russia that grow tomatoes on an industrial scale [Internet]. [cited 2023 Feb 10]. Available from: https://agroklassiksnab.ru/kultivirovanie/gde-v-rossii-vyrashhivayut-pomidory-v-promyshlennyh-masshtabah

3. Comparative survey of conventional and organic farming [Internet]. [cited 2023 Feb 10]. Available from: https://www.greencross.by/ru/SG-sposoby-vedenija-selskogo-hozjajstva

4. Organic vs. natural products: What's the difference? [Internet]. [cited 2023 Feb 10]. Available from: https://plus-one.ru/manual/2022/03/24/organicheskie-i-naturalnye-produkty-v-chem-raznica

5. Puig R, Soler A, Widory D, Mas-Pla J, Domenech C, Otero N. Characterizing sources and natural attenuation of nitrate contamination in the Baix Ter aquifer system (NE Spain) using a multi-isotope approach. Science of the Total Environment. 2017;580:518–532. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.206

6. Oganesyants LA, Panasyuk AL, Kuzmina EI, Ganin MYu. Isotopes of carbon, oxygen, and hydrogen ethanol in fruit wines. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):717–725. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-717-725

7. Kuzmina EI, Ganin MYu, Sviridov DA, Egorova OS, Shilkin AA, Akbulatova DR. Using modern instrumental methods for coffee identification. Food Systems. 2022;5(1):30–40. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-30-40

8. Oganesyants LA, Panasyuk AL, Kuz'mina EI, Sviridov DA, Ganin MYu. Modern methods for vegetable oils from various raw materials identification. Food Industry. 2021;(12):56–59. (In Russ.). https://doi.org/10.52653/PPI.2021.12.12.010

9. Snyder KA, Robinson SA, Schmidt S, Hultine KR. Stable isotope approaches and opportunities for improving plant conservation. Conservation Physiology. 2022;10;(1). https://doi.org/10.1093/conphys/coac056

10. McNicol G, Yu Z, Berry ZC, Emery N, Soper FM, Yang WH. Tracing plant-environment interactions from organismal to planetary scales using stable isotopes: A mini review. Emerging Topics in Life Sciences. 2021;5(2):301–316. https://doi.org/10.1042/ETLS20200277

11. Liu H, Nie J, Liu Y, Wadood SA, Rogers KM, Yuan Y, *et al.* A review of recent compound-specific isotope analysis studies applied to food authentication. Food Chemistry. 2023;415. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135791

12. Ehleringer JR, Chesson LA, Valenzuela LO, Tipple BJ, Martinelli LA. Stable isotopes trace the truth: From adulterated foods to crime scenes. Elements. 2015;11(4):259–264. https://doi.org/10.2113/gselements.11.4.259

13. Christopher B, Oliver K. EA-IRMS: Detecting organic grown vegetables [Internet]. [cited 2023 Feb 10]. Available from: https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AB-30399-IRMS-Organic-Vegetables-AB30399-EN.pdf

14. Laursen KH, Mihailova A, Kelly SD, Epov VN, Bérail S, Schjoerring JK, *et al.* Is it really organic? – Multi-isotopic analysis as a tool to discriminate between organic and conventional plants. Food Chemistry. 2013;141(3):2812–2820. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.068

15. Schmidt H-L, Robins RJ, Werner RA. Multi-factorial *in vivo* stable isotope fractionation: Causes, correlations, consequences and applications. Isotopes in Environmental and Health Studies. 2015;51(1):155–199. https://doi.org/10.1080/10256016.2015.1014355

16. Bateman AS, Kelly SD, Woolfe M. Nitrogen isotope composition of organically and conventionally grown crops. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007;55(7):2664–2670. https://doi.org/10.1021/jf0627726

17. Verenitch S, Mazumder A. Isotopic characterization as a screening tool in authentication of organic produce commercially available in western North America. Isotopes in Environmental and Health Studies. 2015;51(2):332–343. https://doi.org/10.1080/10256016.2015.997723

18. Choi W-J, Ro H-M, Hobbie EA. Patterns of natural ^{15}N in soils and plants from chemically and organically fertilized uplands. Soil Biology and Biochemistry. 2003;35(11):1493–1500. https://doi.org/10.1016/s0038-0717(03)00246-3

19. Verenitch S, Mazumder A. Carbon and nitrogen isotopic signatures and nitrogen profile to identify adulteration in organic fertilizers. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2012;60(34):8278–8285. https://doi.org/10.1021/jf302938s

20. Farquhar GD, O'Leary MH, Berry JA. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. Australian Journal of Plant Physiology. 1982;9(2):121–137. https://doi.org/10.1071/pp9820121

21. Saurer M, Fuhrer J, Siegenthaler U. Influence of ozone on the stable carbon isotope composition, $\delta^{13}C$, of leaves and grain of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Physiology. 1991;97(1):313–316. https://doi.org/10.1104/pp.97.1.313

22. Trandel MA, Vigardt A, Walters SA, Lefticariu M, Kinsel M. Nitrogen isotope composition, nitrogen amount, and fruit yield of tomato plants affected by the soil-fertilizer types. ACS Omega. 2018;3(6):6419–6426. https://doi.org/10.1021/acsomega.8b00296

23. Afanasev RA, Nosikov VV, Litvinskiy VA, Voronchiihina IN. Oat productivity formation under radioactive pollution soddy-podzolic soil. Plodorodie. 2019;109(4):26–29. (In Russ.). https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.109.09

24. Litvinskiy VA, Nosikov VV, Sushkova LO, Grishina EA. The possibility of using of the stable isotopes of sulphur and nitrogen as a criteria allowing to identify the nutrients at organic farming. Agrochemical Herald. 2019;(6):79–82. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10096