

دانش آزمایشگاهی ایران

سال یازدهم ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۲ ■ شماره پیاپی ۴۴

ISSN 2538-3450



تشخیص آلرژن های غذایی نظیر گلوتن با استفاده از روش واکنش زنجیره ای پلیمرز در زمان واقعی

تقویت شبکه آزمایشگاهی با تقویت روابط و همکاری آزمایشگاهها در استانها

بهره‌مندی مراکز عضو شبکه آزمایشگاهی از اعتبار مالیاتی



مدیریت کارایی دارایی‌های آزمایشگاه



تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی به کار گرفته شده در صنایع پالایشگاهی



بررسی و شبیه‌سازی آنالیز تخریب زانویی ۹۰ درجه



معرفی دستگاه طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی و کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار در ردیابی و کنترل اصالت مواد غذایی



تعیین مقدار کمی ترکیبات هیدروکربن مایع: مقایسه بین کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی فرابنفش خلاء و کروماتوگرافی گازی دو بعدی



نویسندگان

اکبر یوسفی معقول^{۱*}آرش ربیعی^۱، علی خادمی^۱، مریم بگتاش^۱۱. آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اراک، آزمایشگاه تحقیقاتی
ایزوتوپ‌های پایدار

*Sir.lab.araku@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۱

معرفی دستگاه طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی و کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار در ردیابی و کنترل اصالت مواد غذایی

چکیده

در بیشتر مواقع فرض می‌شود که نسبت فراوانی ایزوتوپ‌های طبیعی ثابت است، ولی وقتی که این نسبت بسیار دقیق اندازه‌گیری شود، تغییرات قابل توجه و معنی‌داری را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که دستگاه طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی^۱، قادر است نسبت ایزوتوپ‌های پایدار را بسیار دقیق و صحیح تعیین کند، به طوری که با بررسی نسبت ایزوتوپی مربوط به عناصر کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و گوگرد با استفاده از طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی، امکان انگشت‌نگاری مواد غذایی ساخت تولید کنندگان مختلف و در نتیجه ردیابی و کنترل اصالت مواد غذایی و به‌خصوص تشخیص تقلب در فرآورده‌های غذایی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی

طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی، انگشت‌نگاری ایزوتوپی، اصالت‌سنجی مواد غذایی.

بیشتر عناصر، دارای حداقل دو ایزوتوپ پایدار با فراوانی‌های متفاوت هستند که به‌طور معمول یک ایزوتوپ از نظر فراوانی غالب است. به‌عنوان مثال، میانگین فراوانی ^{12}C ، ۹۸/۸۹ درصد بوده، در حالی که میانگین فراوانی ^{13}C ، ۱/۱۱ درصد است. جدول (۱) میانگین فراوانی برخی از ایزوتوپ‌های پایدار را نشان می‌دهد.

جدول (۱): فراوانی طبیعی متداول‌ترین ایزوتوپ‌های پایدار (۱ تا ۳).

سولفور	اکسیژن	نیتروژن	کربن	هیدروژن
^{32}S : ۹۵/۰۲ درصد	^{16}O : ۹۹/۷۶۳ درصد	^{14}N : ۹۹/۶۴ درصد	^{12}C : ۹۸/۸۹ درصد	^1H : ۹۹/۹۸۴ درصد
^{34}S : ۴/۲۱ درصد	^{18}O : ۰/۱۹۹۵ درصد	^{15}N : ۰/۳۶ درصد	^{13}C : ۱/۱۱ درصد	^2H : ۰/۰۱۵۶ درصد

متداول‌ترین ایزوتوپ‌های پایدار، مربوط به عناصر هیدروژن (H)، کربن (C)، نیتروژن (N)، اکسیژن (O) و سولفور (S) است. نسبت ایزوتوپی یک نمونه (R) به‌صورت نسبت تعداد اتم‌های ایزوتوپ (سنگین‌تر) به تعداد اتم‌های ایزوتوپ دیگر (سبک‌تر) همان عنصر شیمیایی (مانند $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) تعریف می‌شود. نسبت این ایزوتوپ‌ها از زمان پیدایش زمین تاکنون تغییر نکرده است ولی تغییرات محلی به دلیل بسیاری از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی ایجاد می‌شود. به‌عنوان مثال، شکل‌های ایزوتوپی مختلف کربن (^{12}C و ^{13}C) توسط گیاهان، حیوانات و مواد معدنی، جذب شده و به بخشی از امضای ایزوتوپی کربن تبدیل می‌شوند. این نسبت ایزوتوپ‌های پایدار (مانند $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) به‌طور عمده در کنترل سوخت و ساز گیاه و یا رژیم غذایی حیوان بوده و بیشتر برای تفسیر این موارد استفاده می‌شود [۱ تا ۳].

برای ثبت یک اثر انگشت ایزوتوپی، نیاز به اندازه‌گیری بسیار دقیق نسبت ایزوتوپی در نمونه مورد نظر است. نسبت‌های ایزوتوپ‌های پایدار (R) ($^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) به‌طور دقیق و صحیح، با استفاده از روش‌های اختصاصی مانند طیف‌سنجی جرمی نسبت ایزوتوپی قابل اندازه‌گیری هستند. شکل پذیرفته شده برای گزارش ترکیب ایزوتوپی یک نمونه، نماد دلتا (δ) است. در واقع، تفاوت در نسبت‌های ایزوتوپی، بیشتر با نماد دلتا نشان داده شده و نسبت به یک استاندارد بین‌المللی محاسبه می‌شود. برای مثال، مقدار دلتا (δ) برای ترکیب ایزوتوپی کربن در یک نمونه به‌صورت رابطه (۱) نشان داده می‌شود [۱ تا ۳]:

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{نمونه}} - R_{\text{استاندارد}}}{R_{\text{استاندارد}}} \right) \times 1000 \quad \text{رابطه (۱)}$$

تغییرات فراوانی ایزوتوپ‌ها یا به عبارتی، تغییرات نسبت‌های ایزوتوپی، برای بیشتر عناصر مورد مطالعه، به‌طور معمول کوچک هستند و مقادیر به‌صورت قسمت درصد (%، قسمت در هزار (‰) یا قسمت در میلیون (ppm) گزارش می‌شوند. استانداردهای بین‌المللی برای محاسبه مقدار دلتا (δ) برای عناصر مورد نظر در جدول (۲) آورده شده‌است:

جدول (۲): استانداردهای بین‌المللی برای محاسبه مقدار دلتا (δ) برای عناصر هیدروژن، کربن، نیتروژن، اکسیژن و سولفور [۱ تا ۳].

عناصر	مقدار δ	نسبت	استانداردهای بین‌المللی	مقدار نسبت
هیدروژن	D δ	$^1\text{H}/^2\text{H}$	Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW)	۰/۰۰۰۱۵۵۷۵
"	"	$^1\text{H}/^2\text{H}$	Standard Light Antarctic precipitation (SLAP)	۰/۰۰۰۰۸۹۰۸۹
کربن	C δ	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	Vienna peedee belemnite (VPDB)	۰/۰۱۱۲۳۷۲
نیتروژن	N δ	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	Air	۰/۰۰۳۶۷۶
اکسیژن	O δ	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW)	۰/۰۰۲۰۰۵۲
"	"	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	Vienna peedee belemnite (VPDB)	۰/۰۰۲۰۶۷۲
"	"	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	Standard Light Antarctic precipitation (SLAP)	۰/۰۰۱۸۹۳۹
گوگرد	S δ	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	Canyon diablo troilite (CDT)	۰/۰۴۵۰۰۵

به‌منظور اندازه‌گیری نسبت ایزوتوپی مورد نظر، عناصر نیتروژن، گوگرد، کربن، اکسیژن و هیدروژن موجود در نمونه، از طریق سیستم‌های آماده‌سازی به شکل گازهای نیتروژن (N_2)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، دی‌اکسید کربن (CO_2)، مونوکسید کربن (CO) و یا هیدروژن (H_2) وارد دستگاه طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی می‌شوند



شکل (۳): تصویری از آهنربای الکتریکی [۴].

• آشکارساز جرمی:

شامل سه فنجان فارادی^۲ بوده که عرض شکاف هر کدام متفاوت است (شکل (۴)).

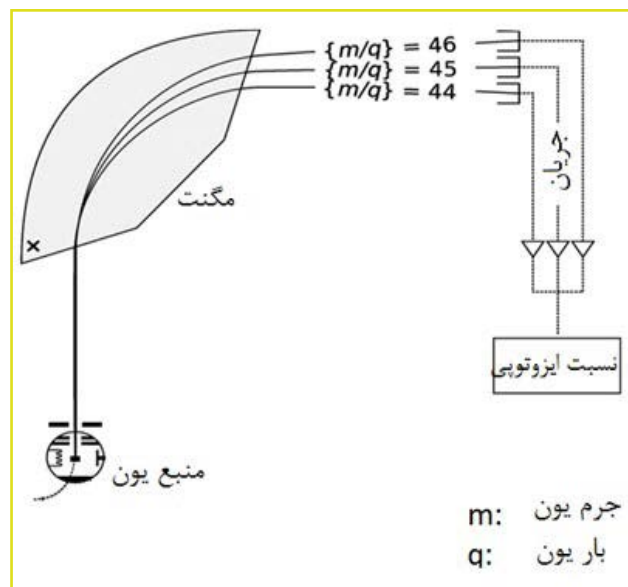


شکل (۴): تصویری از شناساگر جرمی (فنجان فارادی) [۴].

این سیستم، تغییرات در جداسازی پرتوهای یونی گازهای مختلف، مانند CO_2 و N_2 را بدون نیاز به آشکارساز جرمی قابل جایجایی در اختیار می‌گذارد؛ با این حال، در مورد هیدروژن، یک آشکارساز جرمی اضافی به آن افزوده می‌شود. باریک‌ترین شکاف، پرتو یون را از ایزوتوپ فرعی (۱) (پرتو (۲)) می‌پذیرد. این شکاف بیشترین قدرت تفکیک سیستم را فراهم می‌کند. شکاف، از عرض پرتو یونی، عریض‌تر است؛ به همین دلیل، بالای پیک اسکن شده، صاف است که این امر، خطاهای ناشی از دریافت‌های کوچک در موقعیت پرتو یونی را در اندازه‌گیری نسبت ایزوتوپی محدود می‌کند. آشکارساز جرمی‌های بزرگ‌تر بیرونی، دارای شکاف‌هایی هستند که به‌طور تقریبی، سه برابر عریض‌تر از عرض شکاف آشکارساز جرمی محوری هستند. این شکاف‌های عریض‌تر، پرتوهای یونی را از ایزوتوپ‌های اصلی و فرعی (۲)^۵ می‌پذیرند (به ترتیب پرتوهای (۱) و (۳)) (شکل (۶)).

دستگاه طیفسنج جرمی نسبت ایزوتوپی

ساختار کلی دستگاه طیفسنج جرمی نسبت ایزوتوپی در شکل (۱) نشان داده شده‌است:

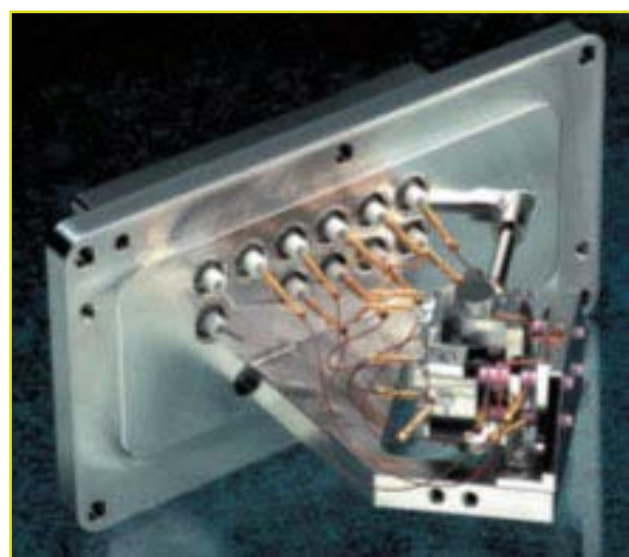


شکل (۱): ساختار کلی دستگاه طیفسنج جرمی نسبت ایزوتوپی [۴].

اجزای دستگاه طیفسنج جرمی نسبت ایزوتوپی عبارتند از:

• منبع یون^۶:

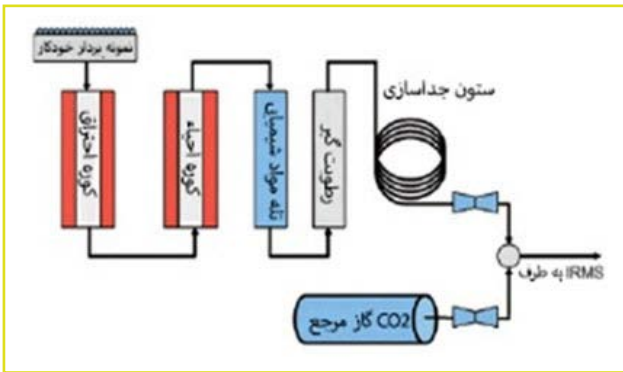
شامل یک محفظه کوچک است که در آن، مولکول‌های گاز با برخورد با الکترون‌ها یونیزه می‌شوند (شکل (۲)).



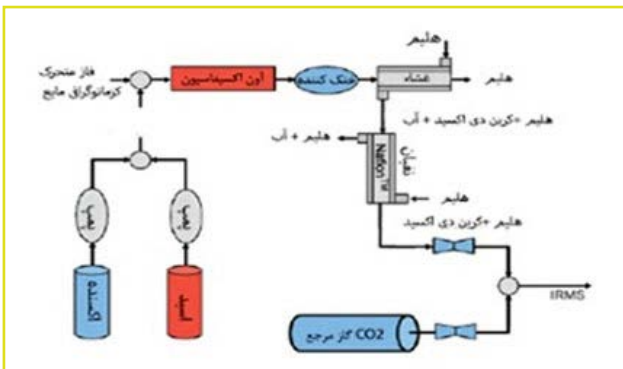
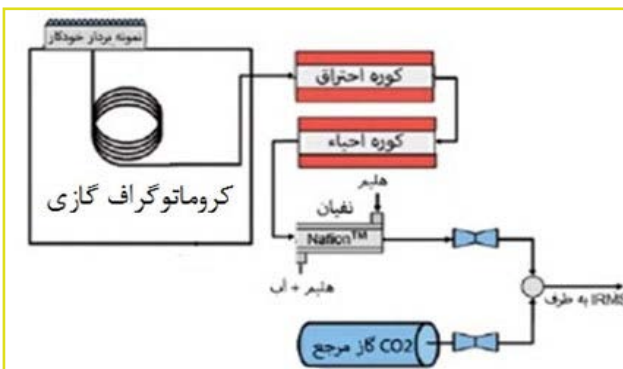
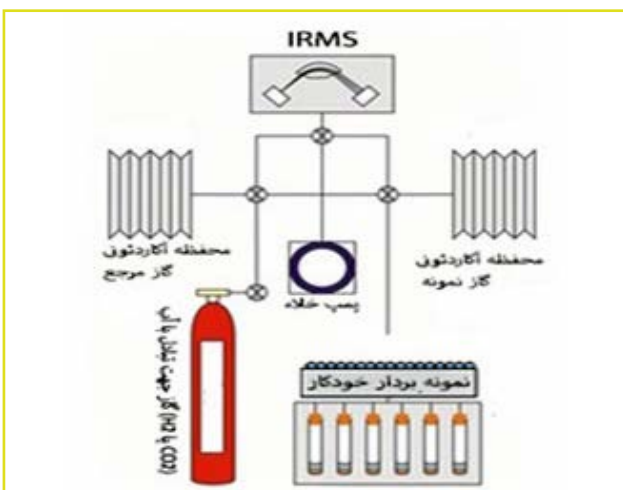
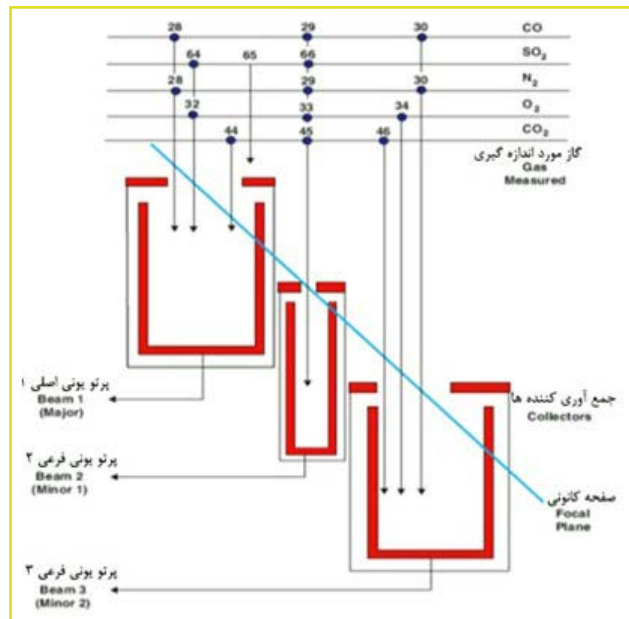
شکل (۲): تصویری از منبع یون ساز [۴].

• آهنربای الکتریکی:

شامل یک الکترومغناطیس است که با شدت جریان بین (۱) تا (۵) A کار می‌کند (شکل (۳)).



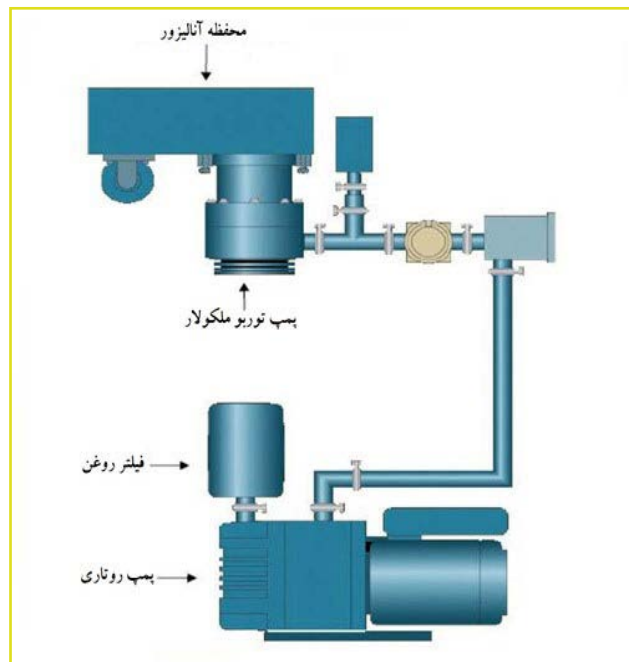
شکل (۷): نمایی از سیستم آماده‌سازی نمونه شامل آنالیز عنصری (IRMS) [۴].

شکل (۸): نمایی از سیستم آماده‌سازی نمونه شامل کروماتوگرافی مایع^{۱۲} (IRMS) [۴].شکل (۹): نمایی از سیستم آماده‌سازی نمونه شامل کروماتوگرافی گازی^{۱۳} (IRMS) [۴].شکل (۱۰): نمایی از سیستم آماده‌سازی نمونه شامل ورودی دوگانه^{۱۴} [۴].

شکل (۵): نمایی از عملکرد شناساگر جرمی [۴].

• سیستم خلاء:

سیستم خلاء، شامل یک پمپ چرخشی^۶ است که پمپ توربو مولکولی را پشتیبانی می‌کند (شکل (۶)).



شکل (۶): تصویری از سیستم خلاء [۴].

سیستم‌های آماده‌سازی نمونه

سیستم‌های آماده‌سازی نمونه شامل کروماتوگرافی مایع^۷، کروماتوگرافی گازی^۸، آنالیز عنصری^۹ و ورودی دوگانه^{۱۰} هستند. نمایی از سیستم‌های آماده‌سازی ذکر شده در شکل‌های (۷) تا (۱۰) نشان داده شده‌اند.

کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار در ردیابی و کنترل اصالت مواد غذایی

با توجه به اینکه مواد غذایی همواره مورد نیاز انسان و سایر جانداران بوده و تهیه آن نیز از نیازهای اصلی بازار است، افراد سودجو و متقلب تمایل بسیاری به استفاده از این بازار همیشگی و پر رونق دارند. در سال‌های اخیر، قلب و برچسب‌های غیرواقعی بر کالاها، از عضلات جدی در زمینه عرضه مواد غذایی هستند که نه تنها موجب تضییع حق مصرف‌کنندگان و کاهش اعتبار تولیدکنندگان متعهد می‌شود، بلکه سلامت جامعه را نیز تهدید می‌کند [۵]. تاکنون به‌منظور تشخیص قلب در مواد غذایی از فناوری‌هایی مانند طیف‌سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریه^{۱۵}، رزونانس مغناطیس هسته^{۱۶}، کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا استفاده شده‌است. متأسفانه کلاهبرداران خیره و ماهر می‌توانند با تقلید از ترکیب فیزیکی و شیمیایی مواد غذایی، محصول مورد نظر را به‌صورت مصنوعی به‌گونه‌ای تولید کنند که قابل تشخیص از محصول طبیعی اصلی نباشد. یک فناوری جدید و موثر در تشخیص تقلبات مواد غذایی، آنالیز ایزوتوپ پایدار است. در واقع، از داده‌های حاصل از آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار (نسبت‌های ایزوتوپی) می‌توان به‌عنوان یک «امضا» و یا «اثر انگشت» نامرئی در اصالت‌سنجی انواع مواد غذایی بهره گرفت. دستیابی به این امضای ایزوتوپی به دلیل پیچیدگی آن بدون استفاده از دستگاه‌های تجزیه‌ای بسیار پیشرفته غیرممکن است، به طوری که کپی‌برداری و جعل این امضا بدون داشتن دانش کافی درباره فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی متعددی که می‌توانند فراوانی ایزوتوپ‌ها را در مواد غذایی تحت تأثیر قرار دهند، بسیار مشکل است [۲]. در این مطالعه، توانایی طیف‌سنجی جرمی نسبت ایزوتوپ‌های پایدار، به‌عنوان روشی موثر در تعیین اصالت و منشأ مواد غذایی، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نتایج تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که عوامل مختلفی شامل ترکیب ایزوتوپی مواد استفاده شده توسط گیاه، فرآیند جذب مواد بوسیله گیاه، آب و هوای محیط رشد و نمو گیاه و روش زراعت و کوددهی می‌توانند بر ترکیب ایزوتوپی مواد گیاهی تأثیرگذار باشند. همچنین مسیرهای فتوسنتز مختلف گیاهان باعث تفاوت در فرآیند تثبیت کربن می‌شود که در نهایت، بر نسبت ایزوتوپی $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ اثر می‌گذارد. علاوه‌بر این، ترکیب ایزوتوپی نیتروژن ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) نیز به تغذیه خاک وابسته است. بنابراین، بررسی ترکیب ایزوتوپی فرآورده‌های گیاهی با استفاده از IRMS به‌عنوان روشی مفید برای تعیین اصالت مواد غذایی و تشخیص مواد غذایی اصل از تقلبی قابل استفاده است.

به‌عنوان مثال، نتایج گزارش‌ها نشان می‌دهد که از روش‌های نسبت ایزوتوپی نه تنها می‌توان برای بررسی منشأ

جغرافیایی برنج استفاده کرد [۶]، بلکه قلب ناشی از اضافه کردن برنج نامرغوب به برنج مرغوب را نیز می‌توان تشخیص داد؛ به طوری که در ژاپن، طبق قانون استانداردهای کشاورزی، هنگام بسته‌بندی برنج، برچسب‌هایی برای مشخص کردن گونه گیاهی، منطقه زراعی و سال کشت محصول نیاز است. آنالیز ۳۵ نمونه گندم کاشته شده در مناطق مختلف استرالیا، آمریکا، کانادا و چین با استفاده از طیف‌سنجی نسبت ایزوتوپی آنالیز عنصری^{۱۷} نشان داد که با تعیین مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ و $\delta^{15}\text{N}$ در نمونه، می‌توان خاستگاه جغرافیایی نمونه‌های گندم کشت شده در مناطق مختلف را تشخیص داد. بنابراین، اندازه‌گیری مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ و $\delta^{15}\text{N}$ به‌طور بالقوه، به‌عنوان روشی مفید برای تعیین منشأ جغرافیایی گندم و حتی غلات دیگر مانند جو و برنج پیشنهاد می‌شود [۵].

مطالعات مشابهی با استفاده از روش‌های ایزوتوپی برای تعیین خاستگاه جغرافیایی و بررسی شرایط کشت سایر محصولات کشاورزی انجام شده‌است. آنالیز ایزوتوپی (H, O, N, C) انواع توت‌فرنگی و کشمش در ۱۹۰ نمونه از میوه‌های تولید شده در مناطق ایتالیا، رومانی و لهستان انجام شد، نتایج حاصل، تمایز بین محصولات کاشته شده در مناطق مختلف را نشان داد [۷].

از داده‌های ایزوتوپ کربن و اکسیژن برای تمایز منابع روغن زیتون تولید شده در مکان‌های مختلف منطقه مدیترانه استفاده شده‌است [۸]. به‌طور مشابه، به کمک اندازه‌گیری ^{13}C مربوط به اسیدهای چرب به ویژه پالمیتیک اسید و اولئیک اسید می‌توان درجه کیفیت و منشأ جغرافیایی روغن پالم را تشخیص داد [۹].

علاوه‌بر این، آنالیز ایزوتوپی کربن و هیدروژن ($\delta^{13}\text{C}$ و $\delta^2\text{H}$) باعث شده‌است که بتوان منابع مختلف اسید سیتریک طبیعی حاصل از آب میوه (در مقایسه با منابع تجاری استخراج شده از نیشکر یا شربت ذرت) را به‌منظور ردیابی قلب در آبمیوه‌های مختلف، مشخص کرد [۱۰]. همچنین مطالعات ارزشمندی به‌منظور تشخیص عسل اصل از عسل تقلبی با استفاده از طیف‌سنجی نسبت ایزوتوپی کروماتوگرافی مایع^{۱۸} انجام شده‌است [۱۱]. بررسی ترکیب ایزوتوپی ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{15}\text{N}$) در زعفران، روش مناسبی برای تشخیص اصالت و منشأ جغرافیایی این محصول ارزشمند است [۱۲].

لازم به ذکر است که آنالیز ایزوتوپی به‌منظور تشخیص قلب در فرآورده‌های دامی و محصولات جانبی آنها نیز مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، با استفاده از نسبت ایزوتوپی کربن و نیتروژن می‌توان تمایز گوشت گاو تولید شده در کشورهای مختلف را تشخیص داد. علاوه‌بر این، روش تغذیه (رایج در مقابل ارگانیک) دام را گاهی می‌توان با آنالیز ایزوتوپ‌های کربن، نیتروژن و گوگرد شناسایی نمود. بدین منظور، نسبت‌های ایزوتوپی $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ و $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ، در گوشت گوسفند آفریقایی که در مزارع

نتیجه‌گیری

بکارگیری روش‌های آنالیز نسبت‌های ایزوتوپی و بررسی امضاهای ایزوتوپی طبیعی، راه حل بسیاری از مسائل، در زمینه ردیابی و کنترل اصالت مواد غذایی است. از آنجایی که مساله ایمنی و سلامت مواد غذایی، مساله‌ای رو به رشد است، اخیراً برای بررسی اصالت و منشأ مواد غذایی شامل فرآورده‌های لبنی مانند شیر و پنیر، محصولات آبرزی مانند ماهی، غلات مختلف مانند گندم و برنج، عسل، انواع آبمیوه‌ها، فرآورده‌های گوشتی مانند گوشت گاو و گوسفند، روغن زیتون، زعفران و عصاره‌های وانیلی از آنالیز نسبت ایزوتوپی استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که آگاهی از نوع تغذیه گیاهان و حیوانات و فرآیندهای سوخت و ساز آنها، به درک و تفسیر بهتر مسیرهای جذب ایزوتوپ‌های پایدار توسط گیاهان و حیواناتی که از این گیاهان تغذیه می‌کنند، کمک می‌کند. آگاهی از این مبانی، تفسیر امضاهای ایزوتوپی را به‌منظور تشخیص روش‌های کشت گیاهان و منشأ آنها و نیز خاستگاه و نوع رژیم غذایی حیوانات را ممکن می‌سازد.

مختلف (۷ مزرعه) با گیاهان مختلف تغذیه شده بودند، برای ارزیابی منشأ و رژیم غذایی گوسفند، با استفاده از IRMS اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ تحت تاثیر محل پرورش و در واقع رژیم غذایی مصرفی قرار گرفته است [۱۳].

با توجه به اینکه ردیابی اصالت فرآورده‌های لبنی از اهمیت بسیاری برخوردار است، آنالیز ایزوتوپی بسیار کمک کننده است. بدین منظور، مطالعات ایزوتوپی پنیرهای ایتالیا، اسپانیا و فرانسه با اندازه‌گیری مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ ، $\delta^{15}\text{N}$ و $\delta^{34}\text{S}$ در کازیین و $\delta^{18}\text{O}$ در گلیسرول با استفاده از IRMS انجام شد و اثر عوامل موثر مانند رژیم غذایی حیوان، منشأ جغرافیایی، شرایط اقلیمی و فصلی بر ترکیب ایزوتوپی پنیرهای مورد مطالعه، بررسی شدند. نتایج نشان داد که مقدار $\delta^{13}\text{C}$ کازیین و گلیسرول تحت تاثیر مقدار ذرت در رژیم غذایی حیوان است و مقادیر $\delta^{15}\text{N}$ و $\delta^{34}\text{S}$ کازیین تاثیرپذیر از شرایط آب و هوایی خاستگاه، مانند خشکی، فاصله و ارتفاع از سطح دریا است [۱۴]. مطالعات مشابهی نشان داد که ترکیب ایزوتوپی پنیر ($\delta^{13}\text{C}$ ، $\delta^{15}\text{N}$ ، $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^{34}\text{S}$) می‌تواند ارتباطی قوی با مقدار ذرت مصرفی در رژیم غذایی حیوان داشته باشد [۱۵]. بنابراین، آنالیز ترکیب ایزوتوپی مواد غذایی از قبیل فرآورده‌های کشاورزی و دامی به‌طور وسیعی به‌منظور بررسی اصالت مواد غذایی استفاده می‌شود.

پی‌نوشت

1. Isotope ratio mass spectrometry (IRMS)
2. Ion source
3. Faraday cup
4. Minor 1 isotope
5. Major and minor 2 isotopes
6. Rotary pump
7. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)
8. Gas chromatography (GC)
9. Elemental analysis (EA)
10. dual input (DI)
11. Elemental analysis (EA)
12. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)
13. Gas chromatography (GC)
14. Dual input (DI)
15. Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR)
16. Nuclear magnetic resonance (NMR)
17. Elemental analyzer-isotopic ratio mass spectrometer (EA-IRMS)
18. Liquid chromatography- Isotope ratio mass spectrometry (LC-IRMS)

مراجع

- [1] Zh[1] PT Korenaga, Y Suzuki, Y Chikaraishi, 7- Biochemical Stable Isotope Analysis in Food Authenticity, Engineering Tools in the Beverage Industry, 3 (2019) 209-227.
- [2] LA Chesson, BJ Tipple, and JD Howa, GJ Bowen, JE Barnette, TE Cerling, JR Ehleringer, Stable Isotopes in Forensics Applications, Elsevier, 2014.
- [3] J Francis Carter, L Ann Chesson, Food forensics: stable isotopes as a guide to authenticity and origin, 2017.
- [4] Isoprime user manual.
- [5] D Luo, H Dong, H Luo, Y Xian, J Wan, X Guo, Y Wu, The application of stable isotope ratio analysis to determine the geographical origin of wheat, Food Chemistry, 174 (2015) 197–201.
- [6] L Zhi, W Yuan, H Yudi, L Wei, L Bin, M Guiyuan, Multi-stable isotope and multi-element origin traceability of rice from the main producing regions in Asia: A long-term investigation during 2017–2020, Food Chemistry, 412, (2023) 135417.
- [7] M. Perini, L. Giongo, M. Grisenti, L. Bontempo, F. Camin, Stable isotope ratio analysis of different European raspberries, blackberries, blueberries, currants and strawberries, Food Chemistry, 239 (2018) 48-55.
- [8] E G. Nasr, E N. Epova, M Sebilo, D Larivière, M Hammami, R Souissi, H Abderrazak, O F. X. Donard, Olive Oil Traceability Studies Using Inorganic and Isotopic Signatures: A Review, Molecules, 27(6) (2022) 2014; <https://doi.org/10.3390/molecules27062014>
- [9] Spangenberg, J. E., Macko, S. A., & Hunziker, J. Characterization of olive oil by carbon isotope analysis of individual fatty acids: implications for authentication. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46 (1998) 4179–4184.
- [10] E. Jamin, F. Martin, R. Santamaria-Fernandez, and M. Lees, Detection of Exogenous Citric Acid in Fruit Juices by Stable Isotope Ratio Analysis, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53 (2005) 5130-5133.
- [11] A.I. Cabañero, J.L. Recio, M. Ruperez, Liquid chromatography coupled to isotope ratio mass spectrometry: a new perspective on honey adulteration detection, J. Agric. Food Chem. 54 (2006) 9719–9727.
- [12] J Nie, J Yang, C Liu, C Li, S Shao, C Yao, B Chen, Y Tao, F Wang, Y Zhang, K M. Rogers, P Wang, Y Yuan, Stable isotope and elemental profiles determine geographical origin of saffron from China and Iran, Food Chemistry, 405 (2023) 134733
- [13] M O Varrà , E Zanardi, M Serra, M Conter, A Ianieri, S Ghidini, Isotope Fingerprinting as a Backup for Modern Safety and Traceability Systems in the Animal-Derived Food Chain, Review, molecules, 28(11) (2023), 4300; <https://doi.org/10.3390/molecules28114300>
- [14] F Camin, K Wietzerbin, A B Cortes, G Haberhauer, M Lees, G Versini, Application of Multielement Stable Isotope Ratio Analysis to the Characterization of French, Italian, and Spanish Cheeses, J. Agric. Food Chem. 52 (2004) (21) 6592–6601.
- [15] S Zhao, H Liu, M Qie, Jiukai Zhang, L Tan, Y Zhao, Stable Isotope Analysis for Authenticity and Traceability in Food of Animal Origin, Review, Food Reviews International, 39(5) (2023).

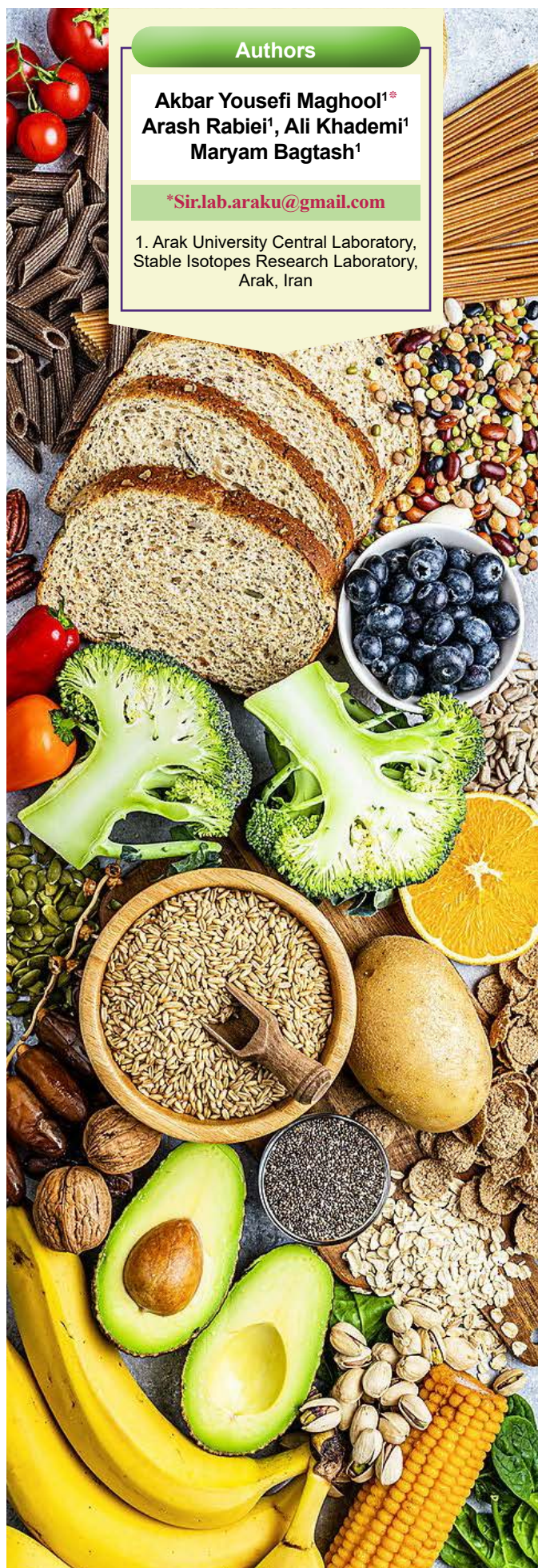
Introducing the isotope ratio mass spectrometer and the application of stable isotopes in tracing and controlling the authenticity of food

Abstract

Most of the time, it is assumed that the abundance ratio of natural isotopes is constant, but when this ratio is measured very precisely, it shows significant changes. It should be noted that the isotope ratio mass spectrometer is able to determine the ratio of stable isotopes very accurately and precisely, so that by checking the isotope ratio of the elements carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen and sulfur using an isotope ratio mass spectrometer, it is possible to fingerprint food made by different manufacturers and as a result to track and control the authenticity of food and especially detect fraud in food products.

Keywords

isotope ratio mass spectrometer, isotope fingerprinting, food authenticity



Authors

Akbar Yousefi Maghool^{1*}
Arash Rabiei¹, Ali Khademi¹
Maryam Bagtash¹

*Sir.lab.araku@gmail.com

1. Arak University Central Laboratory,
Stable Isotopes Research Laboratory,
Arak, Iran



Real-time PCR Analysis of Food Allergens and Gluten



Defining 'Performance' in Asset
Performance Management



Estimation of Remaining
Life of ASTM A106 Grade B
Steel Pipes Used in Refinery
Industries



Examination and Simulation of
Failure Analysis in 90-Degree
Elbow Joints



Quantification of the composi-
tion of liquid hydrocarbon
streams: Comparing the GC-VUV
to DHA and GCxGC



Introducing the isotope ratio
mass spectrometer and the
application of stable isotopes
in tracing and controlling the
authenticity of food