

استفاده از تکنیک‌های هسته‌ای در برنامه‌های به‌نژادی درختان میوه

INC29-1366

علی اکبر قاسمی سلوکلویی^{۱*}، مجتبی کوردروستامی^۱ و کورش وحدتی^۲

۱. گروه اصلاح نباتات، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی:

۳۱۴۸۵۴۹۸، کرج، ایران.

۲. گروه باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، صندوق پستی: ۳۳۹۱۶۵۳۷۵۵، پاکدشت، ایران.

چکیده:

به‌نژادی درختان میوه یک روش باستانی بوده که با استفاده از فناوری‌های فعلی پویا و آینده‌ای هیجان‌انگیز در حال پیشرفت و معرفی ارقام جدید می‌باشد. روش اصلاح کلاسیک معمولی (هیبریداسیون) در درختان میوه با بسیاری از محصولات زراعی متفاوت می‌باشد به طوری که محدودیت‌های بسیاری از جمله طولانی بودن دوره نونهالی، هتروزیگوسیتی، نیاز به فضای زیاد و هزینه بالا را دارد. جهش‌های سوماتیکی خود به خودی نقش قابل توجهی در بهبود ژنتیکی گیاهان تکثیر شده به روش غیرجنسی (از جمله درختان میوه) ایفا کرده‌اند، اما میزان آن‌ها در طبیعت بسیار کم است و در برنامه‌های به‌نژادی نمی‌تواند به‌عنوان یک روش مؤثر مورد استفاده قرار گیرد؛ بنابراین پرتوهای جهش‌زا مانند ایکس و گاما به‌عنوان یکی از روش‌های فناوری هسته‌ای، یک ابزار معتبر برای افزایش فراوانی جهش سوماتیکی با القای تغییردهنده کروموزومی یا ژنی در مریستم انتهایی ساقه شناخته شده‌اند. علاوه بر این، امروزه سایر روش‌های هسته‌ای از جمله تکنیک ایزوتوپی به‌عنوان یک فناوری با ارزش و قابل اعتماد برای مدیریت کارآیی مصرف آب به‌شمار می‌روند. بنابراین با اندازه‌گیری اختلاف مقادیر ایزوتوپ‌های سنگین و سبک کربن در بافت مختلف گیاهی، می‌توان غربال اولیه را در ارزیابی شمار زیادی از ارقام درختان میوه به‌منظور انتخاب ارقام و یا پایه‌های مقاوم به خشکی انجام داد.

کلیدواژه‌ها: جهش سوماتیکی، کارآیی مصرف آب، ایزوتوپ‌های و جهش.

Use of Nuclear Techniques in Breeding Programs of Fruit Trees

Ali Akbar Ghasemi-Soloklui^{*}, Mojtaba Kordrostami¹ and Kourosh Vahdati²

1. Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), P.O.BOX: 31485498, Karaj, Iran

2. Department of Horticulture, College of Aburairhan, University of Tehran, P.O.BOX: 3391653755, Pakdasht, Iran.

Abstract:

Breeding of Fruit trees is an ancient method that is progressing and introducing new cultivars using dynamic current technologies towards an exciting future. The classical breeding method (hybridization) in fruit trees is different from many other crops, so that it has many limitations, such as the length of the juvenility period, heterozygosity, the need for a lot of space, and high cost. Spontaneous somatic mutations have played a significant role in the genetic improvement of asexually propagated plants (including fruit trees), but their amount in nature is very low and cannot be used as an effective method in breeding programs. Therefore, mutagenic rays such as X and gamma are known as one of the methods of nuclear technology, a reliable tool to increase the frequency of somatic mutation by inducing a chromosomal or gene changer in the apical meristem of the stem. In addition, nowadays, other nuclear technique such as isotope technique is considered valuable and reliable technology to manage the efficiency of water consumption. So that by measuring the difference in the amount of C13 and C14 isotopes in different plant tissues, it can be primary screening and evaluation of a large number of fruit tree cultivars in order to select drought-resistant varieties or rootstocks.

Keywords: Somatic mutation, WEU, Isotopes and Mutation.

۱. مقدمه

افزایش جمعیت، کمبود دوره‌ای مواد غذایی، اثرات فعلی و آتی تغییرات آب و هوایی بر تولیدات گیاهی، همگی به‌طور ویژه‌ای بر افزایش منابع ژنتیکی به‌عنوان اولین قدم شروع برنامه‌های به‌نژادی در امنیت غذایی ملی و بین‌المللی تأکید دارند. علاوه بر این، تقاضا برای ارقام جدید که می‌توانند با شرایط نامناسب کشت در گیاهان سازگار شوند در حال افزایش است که این موضوع جستجو برای مواد ژنتیکی جدید را ضروری می‌نماید. از طرفی، طولانی بودن مرحله بلوغ، نبود کلکسیون‌های قابل قبول و در دسترس، ارتفاع زیاد برخی گونه‌های گیاهی، و سایر موانع فیزیولوژیکی مانند خود و دگر ناسازگاری، استنواسپرموکاری، پارتنوکاری و عقیمی همگی چالش‌های بسیار مهمی در اصلاح درختان میوه ایجاد می‌کنند. همچنین اخیراً با افزایش تجارت بین‌المللی از هر دو نیمکره، عامل دیگری همچون سلیقه مصرف‌کننده و بازار هدف در صادرات محصولات درختان میوه نیز اهمیت بخصوصی پیدا کرده است. بنابراین، جهش‌های مصنوعی به‌ویژه استفاده از پرتوهای یونیزان مانند ایکس، گاما و نوترون در افزایش تنوع ژنتیکی گونه‌های درختان میوه و بهبود عملکرد و کیفیت میوه کمک حائز اهمیت می‌باشند. علاوه بر این، یک مشخصه بسیار مهم در استفاده از جهش در گیاهان رویشی این است که در نتیجه تغییرات سوماتیکی ناشی از جهش، بدون اینکه خصوصیات کلی یک رقم تجاری را تغییر دهد، تنها بر تعداد کمی از صفات تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این می‌توان موتانت موردنظر را مستقیماً به‌صورت رویشی تکثیر کرد (IAEA, 2021). همچنین قابل ذکر است که برای افزایش احتمال موفقیت در برنامه‌های به‌نژادی درختان میوه تا حد امکان باید جمعیت افراد موتانت را افزایش داد تا احتمال موفقیت در برنامه‌های اصلاحی به کمک جهش افزایش یابد چرا که تعداد زیادی از افراد موتانت ایجاد شده در هر نسل دچار رشد غیر نرمال و در نتیجه موفق به انتقال آن به نسل بعد نخواهد بود.

بر اساس اطلاعات ما، اولین پروژه انجام‌شده در زمینه استفاده از تکنیک‌های پرتوتابی در به‌نژادی درختان میوه در سال ۱۹۶۳ توسط محققان ایتالیایی انجام شد. آن‌ها اطلاعات بسیار مهمی را در مورد روش‌های پرتودهی، نوع تابش و مرحله رویشی مواد گیاهی تیمار شده ارائه دادند (Donini, 1975)؛ بنابراین، این سوال مطرح می‌شود که موفقیت هر برنامه اصلاحی در درختان میوه با استفاده از جهش‌های ناشی از تشعشع، مستلزم تلاش قابل توجهی است و صرفاً یک موضوع یا تابش چند جوانه نیست. همچنین این موضوع را نباید فراموش کرد که اصلاح ژنتیکی به روش جهش در درختان میوه در طول چند دهه گذشته روند رو به رشدی را داشته است و در چندین کشور، تعداد زیادی آزمایش برای القای جهش‌های مفید انجام شده است. اگرچه نتایج به‌دست‌آمده نسبت به گیاهان زراعی بسیار کمتر است اما از لحاظ معرفی ارقام مهم تجاری در برخی از گونه‌های درختان بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بر اساس اطلاعات موجود در ارتباط با به‌نژادی درختان میوه توسط پرتوهای یونیزان، مشخص شده که این روش باعث تأثیر بر ویژگی‌های کمی و کیفی، اندازه گیاه، خود باروری، زمان گل‌دهی و رسیدن میوه می‌شود (IAEA, 2009). افزون بر این، پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که به‌نژادی به روش القای جهش به‌صورت گسترده، باعث ارتقای مقاومت ارقام به تنش‌های زنده و غیرزنده و همچنین بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای درختان میوه می‌گردد. کربن، که بخش عمده‌ای از کربوهیدرات موجود در بافت‌های گیاهی را تشکیل می‌دهد، هم به شکل ایزوتوپ سبک (کربن ۱۲) و هم ایزوتوپ سنگین (کربن ۱۳) موجود است. اندازه‌گیری تغییرات مقدار این دو ایزوتوپ در بافت‌های گیاهی به شکل روزافزون برای انتخاب و ارزیابی گونه‌های مختلف گیاهان مقاوم در برابر خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، با استفاده از این فناوری هسته‌ای نیازی به اندازه‌گیری بیلان آبی در تعداد زیادی از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در باغ و کلکسیون‌ها نبوده و به‌راحتی می‌توان کارایی مصرف آب را در تعداد زیادی از منابع ژنتیکی گیاهی را در کمترین زمان ممکن و حداقل هزینه مورد ارزیابی اولیه قرار داد.

۲- کاربرد تکنیک پرتوتابی در برنامه‌های به‌نژادی درختان میوه

طبق داده‌های فائو و آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، بیشترین گونه‌های جهش‌یافته به ترتیب مربوط به غلات (۴۸٪)، گل‌های زینتی (۲۰٪)، حبوبات (۱۴٪) و سبزیجات، گیاهان روغنی خوراکی و درختان میوه (۳٪) می‌باشد. بنابراین میزان استفاده از روش‌های هسته‌ای در اصلاح درختان میوه بسیار کم می‌باشد. اما در بین گونه‌های اصلاح‌شده درختان میوه،

بیشترین درصد ارقام معرفی شده به روش موتاسیون به ترتیب مربوط به گیلاس (۲۰٪)، سیب و مرکبات (۱۵٪ درصد)، توت‌فرنگی و هلو (۷٪)، گلابی (۶٪) و آلبالو (۴٪) می‌باشد (IAEA, 2021). پرتوهای ماوراءبنفش، ایکس، گاما، بتا و نوترون‌های سریع به‌عنوان عوامل جهش‌زای مبتنی بر فناوری هسته‌ای توسط بسیاری از محققان در اصلاح درختان میوه در دنیا استفاده شده است. اما در استفاده از هر یک از پرتوها مزایا و معایب آن را باید لحاظ نمود به طوری که در کاربرد پرتو ماوراءبنفش به دلیل نفوذ ضعیف به سوسپانسیون سلولی، تنها به دانه‌های گرده محدود شده است. علاوه بر این، در مورد اشعه بتا که تابش ایزوتوپ‌های رادیویی باید به سلول‌های مریستم پیوندک‌ها برخورد کند، نفوذ چنین تابشی در بافت گیاه ضعیف است؛ بنابراین در برخورد با این‌گونه ایزوتوپ‌های رادیویی باید دقت بیشتری صورت گیرد و مقررات ایمنی قابل اجرا باید رعایت شود. همچنین قابل ذکر است که این مشکل در مورد نوترون‌ها نیز وجود دارد (Ehrenberg and Granhall., 1952)؛ بنابراین، پرتو ایکس و گاما نسبت به سایر روش‌های تکنیک هسته‌ای راحت‌ترین و ساده‌ترین پرتوها برای کاربرد و مدیریت جهش در درختان میوه می‌باشند. استفاده موفقیت‌آمیز از تکنیک جهش به کمک پرتوهای یونیزان در درختان میوه، که اکثراً به روش رویشی تکثیر می‌شوند، نیازمند مدیریت مواد گیاهی پس از پرتوتابی می‌باشد به طوری که تشخیص و جداسازی جهش‌های القایی ممکن است زمانی که بافت پرتوتابی شده فقط از یک سلول تشکیل شده باشد مشکلی ایجاد نکند اما برعکس با پرتودهی یک بافت رویشی مانند جوانه مریستم نوک ساقه که از یک ساختار سازمان‌یافته و چند سلولی که بعد از رشد، منجر به تولید بخش‌های یا بخشی از گیاه کامل می‌شود، مشکلاتی را ایجاد می‌نماید. شیم‌های مریکلینال در طول رشد بافت‌های جهش‌یافته ممکن است باعث تشکیل یک لایه پریکلینال ثابت شوند که در نتیجه شاخه‌های رشد کرده تا جوانه دوم تا سوم جهت حذف شیم‌های احتمالی باید هرس نمود. همچنین تکنیک هرس تا جوانه‌های دوم تا سوم با غلبه بر چیرگی انتهایی به همه جوانه‌های باقی‌مانده فرصت رشد و در نهایت ظهور بافت موتانت جهش‌یافته را می‌دهد. بر اساس اطلاعات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (۲۰۲۱)، در ارتباط با به‌نژادی درختان میوه توسط پرتوهای یونیزان، مشخص شده که این روش بر ویژگی‌های کمی و کیفی میوه، اندازه گیاه، زمان گل‌دهی، زمان رسیدن میوه و خود باروری تأثیر بسزایی دارد. افزون بر این، مطالعات پیشین نشان می‌دهند که به‌نژادی به روش القای جهش به‌صورت گسترده باعث ارتقای مقاومت ارقام به تنش‌های زنده و غیرزنده و همچنین بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای درختان میوه می‌گردد (جدول ۱).

جدول ۱. برخی از موتانت‌های معرفی شده در درختان میوه با استفاده از پرتوهای یونیزان.

درخت میوه	موتانت‌های معرفی شده	خصوصیات ارتقاء یافته
انار	Hongyushizi	نرم‌هستگی، عملکرد بالا
هلو	Magnif 135, Plovdiv 6	اندازه میوه و عملکرد
موز	ALI-Beely	عملکرد
سیب	Golden Haidegg, Lysgolden	اندازه میوه و مقاومت به زنگار
نارنگی	Niab Kinnow	مقاومت به بیماری‌های شانکر مرکبات و اسکب
انگور	ARI 516	بی‌بذری، عملکرد و رنگ میوه
بادام	Supernova	زمان گلدهی و خودباروری
گیلاس	Compact Lambert, Stella	رشد فشرده و پاکوتاهی

در مورد محصول انار برنامه‌های موفقیت‌آمیز اصلاحی با استفاده از فناوری جهش در سایر کشورها گزارش شده است به‌عنوان مثال، در کشور چین با استفاده از جهش در رقم Manaozi باعث اصلاح رقمی با خصوصیات بارزی از جمله: زودرسی، کیفیت تازه‌خوری بالا، میوه‌های بزرگ (۶۲۵ g)، آریل‌های صورتی مایل به قرمز، مواد جامد محلول 15.9٪، افزایش عمر انبارداری تا حدود ۳ ماه، افزایش میزان محصول ۲۷.۵ تا ۳۲ تن در هکتار شدند. علاوه بر این، در برنامه اصلاحی دیگری در کشور چین جهش در رقم Yushizi منجر به معرفی رقمی به نام Hongyushizi با خصوصیات

بارزی از جمله: نرم‌هستگی، عملکرد بالا، مقاوت زیاد به بیماری‌های *Cercospora punicea* و *Iythia versoniana* شد (Holland et al. 2007). همچنین آخوندزاده و همکاران (۱۹۷۷) به بذور و قلمه‌های انار، اشعه گاما با ۱-۴۰ KR تابانیدند و در نتیجه موفق به انتخاب ارقامی با عملکرد بالا، اندازه و کیفیت میوه بهتر نسبت به رقم والدی آن‌ها شدند. آن‌ها همچنین مشاهده کردند واریته‌های میوه شیرین حساسیت بیشتری به پرتوتابی گاما نسبت به میوه‌های ترش یا شیرین-ترش دارند. همچنین در پژوهش ودادی و همکاران (۱۳۹۳) که اثر پرتوتابی گاما بر القای جهش در قلمه‌های چوبی انار را در ایران مورد بررسی قرار گرفت، گزارش شد که دز ۴۵ گری نقطه LD₅₀ و دز مناسب برای پرتوتابی انار، جهت القا جهش ۳۶ گری می‌باشد. در مورد محصول انجیر، اثر پرتو گاما با دزهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ گری در شرایط کشت بافت در ارقام انجیر برزیل مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که دز ۵۰ گری باعث از بین رفتن و مرگ گیاهچه‌ها و دزهای بالای ۳۰ گری باعث جلوگیری از تشکیل ریشه می‌گردد، بنابراین دز ۳۰ گری باعث تولید گیاهانی با ارتفاع بالای ۲/۵ سانتی‌متر گردید (Ferreira, 2009). همچنین اثر اشعه گاما به‌منظور القا موتاسیون در صفات کمی و کیفی روی انجیر تازه‌خوری رقم Roxo de Valinhos در برزیل بررسی گردید که نتایج این بررسی باعث معرفی ۱۶ کلون برتر از نظر خصوصیات رویشی، کمی و کیفی میوه و همچنین مقاومت به آفات و بیماری‌ها شده است (Rodrigues et al., 2012). علاوه بر این، کرکدز (۱۹۸۷) گزارش کرد که استفاده از اشعه گاما برای ایجاد موتاسیون در انجیر باعث ایجاد تنوع ژنتیکی، بهبود صفات رویشی و زایشی و همچنین مقاومت به آفات و بیماری‌ها می‌شود. در بررسی که از پرتو گاما بر رقم بومی "Black Matrouh" کشور مصر استفاده شد گزارش کردند که پرتوتابی با اشعه گاما با دز ۲۰ گری به‌صورت چشمگیری باعث ایجاد کلون‌های متحمل به خشکی انگور گردید (Al-Mousa et al., 2015). همچنین در هند با القاء جهش با اشعه گاما در رقم ARI 516 به نتایج مطلوبی از نظر تنوع خصوصیات کمی و کیفی دست یافتند. نتایج این تحقیق نشان داد که موتانت‌هایی با تنوع بسیار زیاد از نظر خصوصیات مهم اقتصادی به‌دست آمد و گزارش کردند که در تیمار ۳۰ گری شش موتانت بی‌بذر با میزان باردهی بالا و حبه‌هایی با رنگ تیره تولید شد و ۲ گیاه در تیمار ۴۰ گری به‌عنوان موتانت برتر انتخاب شدند (Tetali et al., 2020). افزون بر این، یکی از چالش‌های اصلی به‌نژادگران درختان گیلان و آلبالو، کنترل ارتفاع درخت در کنار دستیابی به سایر ویژگی‌های مهم اقتصادی از قبیل بهبود کیفیت و کمیت و زودرسی محصول بوده است؛ که این صفت مهم با استفاده القاء موتاسیون در بیشتر واریته‌های موتانت محقق شده است. در همین راستا واریته‌های موتانت مختلفی در درختان گیلان و آلبالو با استفاده از موتانت‌های مختلف (اشعه گاما، اشعه ایکس) از سال ۱۹۶۴ توسط کشورهای کانادا، ایتالیا، روسیه، ژاپن و ترکیه معرفی شده است. به‌طور کلی، هدف اصلی در اصلاح مرکبات به روش جهش شامل بهبود واریته‌های موجود از نظر بی‌دانه‌گی، زمان برداشت، پوست میوه و رنگ آب میوه است. تعداد زیادی از گونه‌های مهم تجاری مرکبات مانند پرتقال نافی واشنگتن، گریپ‌فروت مارش، نارنجی شاموتی و پرتقال شیرین سالوستیانا از جهش طبیعی جوانه منشأ گرفته‌اند. امروزه چندین واریته بدون دانه مانند Fairchild SL, Daisy SL, Tango, Kinnow SL و Fairchild SL از واریته‌های Kinnow SL, W. Murcott, Daisy, Fairchild و Kinnow با اصلاح جهش بهبودیافته و به‌صورت تجاری کشت می‌شوند (Williams and Roose, 2008). در این میان، پاکستان رقم نارنگی جهش‌یافته NIAB Kinnow را با موفقیت معرفی کرد که مقاومت متوسط تا بالایی به بیماری‌های شانکر مرکبات، اسکب و پژمردگی فوزاریومی داشت. همچنین میانگین عملکرد این رقم در پاکستان، ۱۲ تا ۱۴ درصد بیشتر از والدین آن بود (آژانس بین‌المللی انرژی اتمی ۲۰۲۱). همچنین در پروژه‌ای که توسط رحیمی و همکاران (۲۰۰۶) تحت عنوان القاء موتاسیون در نارنگی به‌منظور ایجاد تنوع ژنتیکی در جهت تولید موتانت‌هایی با صفات کیفی برتر (با استفاده از پرتوهای گاما) در ایران انجام شد؛ گزارش دادند که پرتوتابی با اشعه گاما باعث معرفی تعدادی درختچه با میوه‌های بدون هسته و تعدادی درختچه زودرس و دیررس به‌عنوان کلون‌های برتر شد که نتیجه نهایی این تحقیق باعث معرفی دو واریته جدید نارنگی به نام‌های نارین و زرین شد. در مورد محصول توت‌فرنگی، در تحقیقی که در کشور ویتنام در سال ۲۰۱۶ روی رونده‌های توت‌فرنگی نیوزیلندی در شرایط آزمایشگاهی انجام شد گزارش کردند که

چهار موتانت جهش‌یافته با میوه قلبی شکل در نتیجه پرتوتابی با دز ۶۰ گری و ۸۰ گری گاما به‌دست آمد. در همین راستا، رزمی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی که القای جهش و ایجاد تنوع ژنتیکی در توت‌فرنگی رقم کردستان را با پرتودهی گاما را در ایران انجام دادند، گزارش کردند که با افزایش شدت اشعه گاما، سطح برگ، طول میوه، قطر میوه، وزن تر و خشک میوه، حجم میوه، شکل و میزان آبمیوه کاهش می‌یابد، اما از طرفی، پُربریگی و کوتولگی در گیاهان پرتو دیده افزایش یافت. علاوه بر این مشاهده کردند که دُز مناسب پرتودهی برای ایجاد جهش در توت‌فرنگی رقم کردستان در بین ۶۵ تا ۷۰ گری گاما می‌باشد. استفاده از تکنیک‌های جهش‌زایی درون‌شیشه، به‌ویژه برای گیاهانی که از طریق روشی قابلیت تکثیر دارند همراه با امکان غربالگری و انتخاب در شرایط درون‌شیشه کارایی القاء موتاسیون را به‌طور چشمگیری افزایش داده است. از آن جمله می‌توان به مقاومت به لکه‌برگی آلترناریایی در سیب با استفاده از اشعه ایکس و گاما (Saito et al., 2001)، تحمل به شوری در پایه‌های رویشی مرکبات با استفاده از موتاژن‌های فیزیکی و شیمیایی (Kumar et al., 2010)، القاء پاکوتاهی در پایه‌های F-12/1 گیلاس و موز با استفاده از اشعه گاما (Abdulhafiz et al., 2018) اشاره کرد.

۳- کاربرد تکنیک ایزوتوپی در تسریع برنامه‌های به‌نژادی درختان میوه

راندمان مصرف آب (WUE)، که به‌عنوان نسبت بین کربن تثبیت‌شده و آب تعرق‌شده تعریف می‌شود، یک ویژگی فیزیولوژیکی مهم برای سازگاری گیاه با خشکسالی است. به‌طور کلی در طول تنش خشکی، انتظار می‌رود گیاهان با WUE بالاتر تحمل بیشتری به خشکی داشته باشند و بهره‌وری بالاتری چه از نظر زیست‌توده تولید شده در واحد سطح یا در هر بوته از خود نشان دهند (DaMatta et al., 2003)؛ بنابراین استفاده از ژنوتیپ‌هایی با WUE بالاتر ممکن است راندمان آبیاری را در شرایط آبیاری خوب و استفاده از بارندگی در کشت‌های دیم را افزایش دهد. علاوه بر این، تنوع ژنوتیپی در WUE در بسیاری از گونه‌های درختان میوه مانند گردو، پسته، سیب نیز گزارش شده است. با این حال، استفاده از WUE به‌عنوان یک شاخص فیزیولوژیکی به‌دلیل دشواری در اندازه‌گیری، به‌ویژه در شرایط باغ، با مشکل مواجه می‌شود. در مقابل، اندازه‌گیری غیرمستقیم WUE براساس تبعیض ایزوتوپی کربن گیاهی ($\delta^{13}C$)، تجزیه و تحلیل تعداد زیادی از نمونه‌های گیاهی در مراحل قبل از بلوغ ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های به‌نژادی درختان میوه را ممکن می‌سازد (Bchir et al., 2016).

به‌طور کلی، حدود ۱،۱ درصد از کربن موجود در CO_2 اتمسفر را ایزوتوپ سنگین (C_{13}) و ۹۸،۹ درصد از آن را ایزوتوپ C_{12} تشکیل داده است. در طول تثبیت کربن در اثر فتوسنتز در برگ، گیاهان نسبت به ایزوتوپ سنگین C_{13} تمایز قائل می‌شوند و باعث می‌شوند که ترکیب ایزوتوپ کربن مواد گیاهی منفی‌تر از CO_2 اتمسفر باشد؛ بنابراین، ایزوتوپ سنگین C_{13} تحت تأثیر اثرات ایزوتوپی در طی انتشار از جو به کلروپلاست‌ها و واکنش‌های کربوکسیلاسیون است. این فرآیند، در میان عوامل دیگر، تحت تأثیر کنترل روزنه‌ای، تبادل گاز برگ و نسبت غلظت‌های CO_2 زیر روزنه (Ci) به محیط (Ca) قرار می‌گیرد (بیلسا و همکاران، ۲۰۱۸)؛ بنابراین، یک همبستگی بین $\delta^{13}C$ و WUE کل گیاه وجود دارد. از آنجایی که $\delta^{13}C$ با WUE در چندین گونه همبستگی دارد، ترکیب یا تبعیض ایزوتوپ کربن به‌عنوان یک معیار انتخاب برای به‌نژادی WUE و احتمالاً عملکرد بالا در شرایط خشکسالی پیشنهاد شده است (Farquhar et al., 1984). اما تنها چند مطالعه کاربرد آنالیز $\delta^{13}C$ را برای مطالعه پاسخ‌های فیزیولوژیکی برجسته کردند و اطلاعات بسیار کمی در مورد رابطه بین $\delta^{13}C$ و WUE در درختان میوه وجود دارد. به‌طور مثال در بررسی که ترکیب ایزوتوپی قندهای محلول برگ در هیبریدهای بین‌گونه‌ای مورد مطالعه از جنس *Prunus* که در معرض تنش خشکی قرار گرفتند گزارش شده است که

رابطه نزدیک و مثبتی با WUE دارد. همچنین مشاهده شد که استفاده از ایزوتوپ‌های کربن پایدار در برنامه‌های انتخاب هیبریدهای بین‌گونه‌ای *Prunus* به‌دلیل ویژگی‌های گونه‌ای نمی‌تواند در سطوح متوسط خشکسالی مورد ارزیابی قرار گیرد اگرچه به‌عنوان یک ابزار انتخاب معتبر در سطوح بالای کمبود آب می‌تواند کارساز باشد (Mininni et al., 2022).

۴. نتیجه‌گیری

در ارتباط با به‌نژادی درختان میوه توسط پرتوهای یونیزان مشخص شده که این روش بر ویژگی‌های کمی و کیفی میوه، اندازه گیاه، زمان گل‌دهی، زمان رسیدن میوه و خود باروری تأثیر بسزایی دارد. علاوه بر این، امروزه سایر روش‌های هسته‌ای از جمله تکنیک ایزوتوپی به‌عنوان یک فناوری با ارزش و قابل‌اعتماد برای مدیریت کارآیی مصرف آب به‌شمار می‌رود. به‌طوری‌که با استفاده از اندازه‌گیری اختلاف مقادیر ایزوتوپ‌های کربن سنگین و سبک می‌تواند ابزار بسیار مناسبی برای غربال اولیه و ارزیابی شمار زیادی از ارقام درختان میوه به‌منظور انتخاب ارقام و یا پایه‌های مقاوم به خشکی باشد.

۵. مراجع

1. Abdulhafiz, F., Kayat, F., & Zakaria, S. 2018. Effect of gamma irradiation on the morphological and physiological variation from In vitro individual shoot of banana cv. Tanduk (*Musa spp.*). *Journal of Plant Biotechnology*, 45(2), 140–145. doi:10.5010/JPB.2018.45.2.140.
2. Akhund-zade IM, Fedorova EE, Mamedov GM, Iskenderova ZD. 1977. Study of the cytogenetic characteristics of pomegranate. *Ispolz biofiz-meto-dov-v-genet-seleksion-eksperimente* 8-9.
3. Al-Mousa, R. N., Hassan, N. A., Stino, R. G., & Gomaa, A. H. (2016). In vitro mutagenesis for increasing drought tolerance and molecular characterization in grape (*Vitis vinifera* L.) cv. "Black Matrouh". *Syrian Journal of Agricultural Research*, 3(2), 259-275.
4. Bchir, A., Escalona, J.M., Gallé, A., Hernández-Montes, E., Tortosa, I., Braham, M. and Medrano, H., 2016. Carbon isotope discrimination ($\delta^{13}C$) as an indicator of vine water status and water use efficiency (WUE): Looking for the most representative sample and sampling time. *Agricultural water management*, 167, pp.11-20.
5. DaMatta, F.M., Chaves, A.R., Pinheiro, H.A., Ducatti, C. and Loureiro, M.E., 2003. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant science*, 164(1), pp.111-117.
6. Donini, B., 1975. Induction and isolation of somatic mutations in vegetatively propagated plants. In: Improvement of Vegetatively Propagated Plants through Induced Mutations, Tokai, 1974. IAEA, Vienna. pp. 35–51.
7. Ehrenberg, L. and I. Granhall. 1952. Effects of beta-radiating isotopes in fruit trees. *Hereditas* 38 (4):385-419
8. Farquhar, G. and R. Richards. 1984. Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. *Functional Plant Biology*, 11 (6):539-552.
9. Holland D, Hatib K, Bar-Ya'akov I, Yonay E, El-Hadi FA .2007. Shani-Yonay pomegranate. *HortScience* 42 (3), 710-711.
10. IAEA. 2009. Induced Mutation in Tropical Fruit Trees. TECDOC-1615. IAEA .
11. IAEA.2021. Mutant Variety Database. <https://nucleus.iaea.org/sites/mvd> .
12. Kumar, K., Gill, M. I. S., Kaur, H., Choudhary, O. P., & Gosal, S. S. 2010. In vitro mutagenesis and somaclonal variation assisted salt tolerance in 'Rough Lemon' (*Citrus jambhiri* Lush.). *European Journal of Horticultural Science*, 75(6), 233–238.
13. Mininni, A.N., Tuzio, A.C., Brugnoli, E., Dichio, B. and Sofo, A., 2022. Carbon isotope discrimination and water use efficiency in interspecific *Prunus* hybrids subjected to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 175, pp.33-43.
14. Rahimi, M., Majd, F., Jahangirzadeh, E., Vedadi, S., Rahmani, E.S.F.A.N.D.I.A.R. and Neshan, N., 2006. Induction mutation in tangerine for creating genetic variation to produce

mutants with desirable character (Using gamma rays). *Journal of Nuclear Science and Technology*, pp.29-34.

15. Razmi, H., Amiri Fahliani, R. and Masoumi Asl, A., 2019. Mutation Induction and Creation of Variation in Strawberry, Kurdistan Cultivar, by Gamma Irradiation and Determination of Suitable Irradiation Dosage. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, 10(2), pp.25-40 (In persian).

16. Rodrigues, M. G. F., Correa, L. D. S., Santos, P. C. D., & Tulmann Neto, A. 2012. Fig clones selection of cv. roxo de Valinhos obtained by irradiated buds. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34(2), 604-611.

17. Saito, A., Nakazawa, N., & Suzuki, M. 2001. Selection of mutants resistant to *Alternaria blotch* from in vitro-cultured apple shoots irradiated with X- and γ -rays. *Journal of Plant Physiology*, 158, 39-400.

18. Tetali, S., Karkamkar, S.P. and Phalake, S.V., 2020. Mutation breeding for inducing seedlessness in grape variety ARI 516. *International Journal of Minor Fruits, Medicinal and Aromatic Plants*, 6(2), pp.67-71.

19. Vedadi, B. Naserian, S. Z. Tabatabaei, M. Rahimi. 2014. Determination of Suitable Dose of Gamma Ray for Mutation Induction in Pomegranate Buds (*Punica Granatum* L. cv. Malase Saveh). *Journal of Nuclear Science and Technology*, 6, pp. 82-85. (In Persian).