القا جهش و ایجاد تنوع در توت‌فرنگی رقم کردستان با پرتودهی گاما و تعیین دُز مناسب پرتودهی

هلن رزمی[۱]، رضا امیری فهلیانی[۱*]، بیژن کاوسی[۲] و اسد معصومی‌اصل[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۵)

چکیده

در توت‌فرنگی، به‌دلیل تکثیر غیرجنسی، تنوع ژنتیکی کم است. یکی از روش‌های افزایش تنوع ژنتیکی به‌عنوان ابزاری مهم در به‌نژادی گیاهان، استفاده از پرتوهای گاما برای القا جهش است. به‌منظور تعیین دُز مناسب گاما برای ایجاد تنوع ژنتیکی در توت‌فرنگی رقم کردستان از طریق جهش و بررسی تأثیر دُزهای مختلف اشعه گاما (صفر (شاهد)، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ گری) بر ویژگی‌های مختلف توت‌فرنگی، این پژوهش در سال ۹۲-۱۳۹۱ در دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج اجرا شد. نتایج نشان داد که گیاهان پرتودیده نسبت به شاهد، دارای مقادیر کمتری از نظر اغلب ویژگی‌های مورد بررسی، به‌جز ویژگی‌های تعداد برگ، قند میوه و آنتوسیانین میوه، بودند. با افزایش شدت اشعه گاما، سطح برگ، طول میوه، قطر میوه، وزن تر و خشک میوه، حجم میوه، شکل و میزان آب میوه کاهش یافتند. از طرفی، پُربرگی و کوتولگی در گیاهان پرتودیده افزایش یافت. دُز مناسب پرتودهی برای ایجاد جهش در توت‌فرنگی رقم کردستان در آستانه ۵۰ درصدی تلفات گیاهان تحت تیمار اشعه گاما (LD_{50})، بین ۶۵ تا ۷۰ گری بود. بنابراین، از پرتو گاما در محدوده پیشنهادی می‌توان برای ایجاد بیشترین تنوع ژنتیکی، با داشتن کمترین تلفات گیاهی، در برنامه‌های به‌نژادی توت‌فرنگی، از جمله برای افزایش کیفیت میوه، استفاده کرد.

کلمات کلیدی: توت‌فرنگی، جهش‌زاهای فیزیکی، کیفیت میوه، نسل جهش‌یافته

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria×ananassa* Duch.، یکی از مهم‌ترین میوه‌های مناطق معتدله در جهان است. میوه توت‌فرنگی منبعی از ترکیبات مفید فنولی و آنتوسیانین‌ها، گلوکز، فروکتوز، ساکارز، اسید سیتریک، اسید مالیک و اسید اسکوربیک (ویتامین C) است (۱۷). قندها و اسیدهای آلی نقش کلیدی در طعم توت‌فرنگی دارند. قندها نه تنها در تعیین شیرینی مهم هستند، بلکه به‌عنوان پیش‌ماده ترکیبات معطر، آنتی‌اکسیدان‌ها و رنگدانه‌ها اهمیت دارند (۴۰).

بر اساس آمارنامه سال ۲۰۱۸ سازمان خواربار و کشاورزی

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

۲. بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Amiri@yu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

ملل متحد (فائو)، کشور چین دارنده مقام اول تولید جهانی توت‌فرنگی است و کشورهای آمریکا، مکزیک، مصر، ترکیه و اسپانیا به‌ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. بر اساس همین گزارش، تولید سالانه توت‌فرنگی در ایران با رتبه ۲۰ جهانی، ۵۵ هزار و ۹۴۶ تن بوده است (۱۹). استان کردستان در رده اول تولید توت فرنگی در کشور ایران قرار دارد (۱) و رقم غالب توت‌فرنگی کشت شده در این استان، رقم "کردستان" است.

افزایش جمعیت، همراه با شهرنشینی و کاهش زمین‌های قابل کشت، از جمله عوامل مهم عدم امنیت غذایی در دنیا هستند. به‌نژادی گیاهی و بهبود رقم از اجزای جدایی‌ناپذیر بهبود تولید غذا هستند. بنابراین، فراهمی منابع ژنتیکی متنوع و دسترسی به آنها همچون سپری در برابر تغییرات محیطی و ناپایداری‌های ناشی از آن عمل می‌کند (۸).

توت‌فرنگی گیاهی اکتاپلوئید است که از دورگ‌گیری بین دو گونه اکتاپلوئید *F. chiloensis* و *F. virginiana* تولید شده است (۲۵). تاکنون ۲۳ گونه توت‌فرنگی با سطوح پلوئیدی ۲ تا ۱۰ پلوئید گزارش شده است (۳۶). استفاده بیش از حد از تکثیر رویشی در توت‌فرنگی به‌دلیل داشتن ساقه رونده (رانر)، تنوع ژنتیکی موجود را از بین برده و یا خواهد برد (۴). از این‌رو، ایجاد ژنوتیپ‌هایی جدید با صفات برتر با استفاده از روش‌های مختلف می‌تواند راهی برای افزایش تنوع ژنتیکی در توت‌فرنگی باشد. مهم‌ترین اهداف به‌نژادی توت‌فرنگی، بر بهبود عملکرد، قدرت رشد، عادت میوه‌دهی، تغییر در زمان رسیدن، کیفیت میوه و بهبود طعم، سازگاری بیشتر گیاه و مقاومت به بیماری‌ها و آفات، متمرکز است (۴۶).

پیش‌بینی می‌شود که به‌دلیل سرعت کم تکنیک‌های افزایش تولید محصولات زراعی مورد نیاز از طریق روش‌های به‌نژادی سنتی، استفاده از روش‌های جایگزین مانند تکنیک‌های القا جهش، راه‌حل رفع این مشکل است و می‌توان از عوامل جهش‌زا به‌منظور سرعت بخشیدن به تغییرات ژنتیکی در منابع گیاهی استفاده کرد (۲۳). گزارش‌های اخیر نشان از افزایش اهمیت تکنیک استفاده از جهش در گیاهان و برتری یافتن آن به‌عنوان گزینه‌ای جایگزین برای تکنیک گیاهان تراریخته دارد (۲۰).

القای جهش با جهش‌زاهای فیزیکی و یا شیمیایی، همراه با انتخاب، نوترکیبی و یا ترکیبی از این دو، در به‌نژادی گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (۴۲). در به‌نژادی از طریق جهش، هم از ژرم‌پلاسم موجود استفاده می‌شود، و هم واریته‌های جدید تولید خواهد شد (۴۵). در حقیقت، جهش با ایجاد تنوع، زمینه را برای ظهور قابلیت‌های بالقوه ژنتیکی که به‌طور طبیعی بروز نمی‌یابند، فراهم می‌سازد و توانایی فائق آمدن بر موانع ژنتیکی دورگ‌گیری مانند ناسازگاری، پیوستگی ژن و توارث تک والدی را دارد (۱۲).

بسیاری از گیاهان می‌توانند از طریق تولید شاخه‌های نابجا بر قسمت‌های متفاوت گیاه به‌صورت رویشی تکثیر شوند (۱۴). این روش تکثیر، امکان به‌نژادی از طریق القا جهش با استفاده از پرتودهی را فراهم می‌کند، چرا که در این صورت باعث ایجاد جهش‌یافته‌های خالص و بدون بافت شیمر می‌شود (۴۳).

تا قرن بیست و یکم، بیشتر از ۲۲۵۲ واریته موتانت به‌طور مستقیم و یا با دورگ‌گیری با ژنوتیپ‌های جهش‌یافته، از گیاهانی شامل غلات، دانه‌های روغنی، حبوبات، سبزی‌ها، میوه‌ها، گیاهان الیافی و گل‌های زینتی توسعه پیدا کرده است. حدود ۶۰٪ این واریته‌های جهش‌یافته با استفاده از اشعه گاما حاصل شده‌اند (۲۹). همچنین، بر اساس گزارش آژانس جهانی انرژی اتمی (IAEA) بیش از ۳۲۰۰ واریته جهش‌یافته از ۲۱۴ گونه گیاهی مختلف در ۶۰ کشور تا سال ۲۰۱۴ توسعه پیدا کرده است (۲۸).

جهش‌زاهای فیزیکی می‌توانند در انواع مواد گیاهی استفاده شوند و به‌طور طبیعی، برای بافت‌های نرم از شدت و یا دزهای کمتری (۳۱) استفاده می‌شود. با مقایسه اثر عوامل جهش‌زا بر گیاهان، مشخص شده است که EMS (اتیل متان سولفونات) معمولاً سبب جهش‌های نقطه‌ای می‌شود. درحالی که اشعه گاما ویژگی‌های رشد و نموی، سیتوژنتیکی، ژنتیکی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و مورفوژنتیکی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد

www.SID.ir

Archive of SID

(۲۲). به‌منظور موفقیت در یک برنامه به‌نژادی با کمک جهش، باید ابتدا دُز مناسب مشخص شود. برای تعیین بهترین دُز پرتوتابی، میزان دُز کاربردی نباید به‌حدی زیاد باشد که گیاهان را از بین ببرد. همچنین، دُز کاربردی باید به‌اندازه‌ای انتخاب شود که فراوانی وقوع جهش به‌اندازه کافی باشد. دُزی که باعث مرگ ۵۰٪ نمونه‌ها شود (LD_{50})، حداکثر میزان جهش را ایجاد می‌کند (۱۰).

جهش در تکامل توت‌فرنگی از تأثیر به‌سزایی برخوردار بوده (۲۶) و گیاهانی با مقاومت بیشتر به سرمای زمستانه و یا محتوای بیشتر قند و ویتامین C تولید شده است. بر اساس گزارش سالانه سازمان انرژی اتمی ویتنام، با کاربرد اشعه گاما در توت‌فرنگی، LD_{50} به‌دست آمده برای توت‌فرنگی در شدت ۵۲ گری بود. با افزایش شدت پرتودهی، میوه‌های ریز افزایش یافت، و بدشکل شدن گیاهان نیز با افزایش شدت تابش از ۲۰ به ۱۰۰ گری افزایش نشان داد. شکل قلبی میوه نیز در بین گیاهان پرتودیده با دزهای ۶۰ و ۸۰ گری دیده شد (۴۴). در پژوهشی دیگر، اثر پرتودهی گاما برای القا جهش در توت‌فرنگی بر بخش‌های مختلف گیاهی ازجمله ساقه رونده و پینه بررسی شد (۳۵) و LD_{50} ژنوتیپ مورد نظر بین ۵۰ تا ۱۰۰ گری گزارش شده است (۳۰).

استفاده از القای جهش با جهش‌زاهای شیمیایی و یا فیزیکی روی گیاهانی مانند پاپایا (۱۵)، لیمو (۲۴)، برنج (۳۸)، موز (۳۷) و قهوه (۲۱) نیز گزارش شده است. بذرهای پاپایا تحت تأثیر پرتو گاما در دامنه صفر تا ۱۲۰ گری به واریته‌های پاکوتاه و یا مقاوم به بیماری‌ها منتهی شدند. مقادیر زیاد پرتو گاما با شدت‌های بین ۱۰۰ تا ۱۲۰ گری برای بذرهای پاپایا کشنده بوده و تقریباً هیچ بذری جوانه نزد. افزایش شدت پرتودهی با پاکوتاهی بیشتر در پاپایا رابطه مستقیمی نشان داد. گیاهان پرتودیده همچنین از نظر وزن میوه، طول، عرض و اندازه میوه و تعداد بذرهای تولیدی، مقادیر بیشتری را نشان دادند (۲۷). دلیل تولید فنوتیپ‌های پاکوتاه در گیاهان بر اثر جهش، تأثیر جهش بر مسیر بیوسنتزی یا سیگنالی جیبرلیک اسید (GA) عنوان شده است (۹).

نتایج بررسی اثر دزهای مختلف پرتو گاما بر صفات جوانه‌زنی و زراعی کلزا نشان داد که میانگین درصد جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش معنی‌داری نسبت به عدم استفاده از اشعه گاما داشت. ارقام کلزا همچنین واکنش متفاوتی به دزهای به‌کار برده شده اشعه گاما داشته‌اند. متأثر از دزهای به‌کار برده شده پرتو گاما، تعداد غلاف در شاخه اصلی افزایش و ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غلاف در شاخه‌های فرعی، طول غلاف و وزن هزار دانه کاهش یافت. همچنین، القا جهش در کلزا به‌طور موفقیت‌آمیزی منجر به جداسازی موتانت‌هایی با ویژگی‌های مطلوب از نظر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در گیاه، تعداد بذر در هر غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، محتوی روغن و مقاومت به بیماری‌ها شده است (۹). بوته‌های پاکوتاه با استفاده از جهش در خردل نیز ایجاد شد (۴۱).

از بذرهای شلغم تحت تیمارهای ۷۵۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۵۰ گری اشعه گاما، دو موتانت که از طریق وزن هزار دانه، عملکرد بیشتری نسبت به لاین والدینی داشتند، ایجاد شد که احتمالاً افزایش اندازه دانه تحت تأثیر موتاژن حاصل شده است (۳۲).

وانی و انیس (۴۹) با کاربرد اشعه گاما با دزهای ۲۰۰ و ۴۰۰ گری در نخود، به سه لاین موتانت با عملکرد زیاد و تغییر برخی صفات مورفولوژیک نظیر افزایش اندازه و تعداد دانه، برگچه، گل‌ها، غلاف و بذر و همچنین افزایش عملکرد و پوشش بذر سخت دست یافتند. این در حالی است که مستقل بودن جوانه‌زنی بذرهای نخود از تیمارهای مختلف اشعه گاما، توسط مولینا و همکاران (۳۹) گزارش شده است.

کاربرد پرتودهی گاما با شدت تابش ۱۰۰ تا ۴۰۰ گری بر ژنوتیپ‌های گندم باعث افزایش میزان کلروفیل در دز ۱۰۰ گری و میزان پرولین و قندهای محلول در دز ۲۰۰ گری شد. با افزایش شدت تابش از ۱۰۰ به ۴۰۰ گری اشعه گاما، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیداز افزایش یافت. نتایج همچنین نشان داد که ژنوتیپ‌ها حساسیت متفاوتی به پرتوتابی دارند (۳).

www.SID.ir

Archive of SID

کاربرد پرتو گاما با دزهای ۱۰۰ تا ۳۵۰ گری در برنج باعث کاهش معنی‌دار مؤلفه‌های جوانه‌زنی شد و کم‌ترین مقدار آنها در دز ۳۵۰ گری دیده شد. به‌طور کلی، کاهش در میزان رشد ارقام برنج، رابطه خطی معنی‌داری با میزان افزایش شدت پرتوتابی داشت و مناسب‌ترین دز پرتوتابی برای ایجاد تنوع ژنتیکی در ارقام برنج مورد مطالعه در محدوده ۲۵۰ تا ۳۵۰ گری بود (۲).

عملکرد برگ، زیتوده و پروتئین، شاخص برداشت پروتئین، کارآیی مصرف نیتروژن در تولید برگ و پروتئین، عملکرد گل و اسانس بابونه آلمانی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر برهمکنش میزان نیتروژن و پرتو گاما (از صفر تا ۲۰ گری) قرار گرفتند (۵).

در گل محمدی، درصد تشکیل میوه و تعداد بذر در میوه تحت تأثیر پرتودهی گاما با دزهای صفر تا ۱۴۰۰ گری بر دانه‌های گرده و القای جنین‌زایی هاپلوئید بکرزا قرار گرفت که میزان آن به مقدار دز اشعه و نوع والد مادری و پدری بستگی داشته و استفاده از شدت ۲۵۰ گری اشعه گاما بیشترین میزان تولید گیاهان هاپلوئید را نشان داد (۴).

درصد اسانس پیکره رویشی آویشن باغی طی پرتودهی در شدت ۱۰۰ گری اشعه گاما بیشترین میانگین را داشته و کمترین آن مربوط به تیمار ۳۰۰ گری بود. از سوی دیگر، تیمارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ گری بیشترین عملکرد و تیمار ۳۰۰ گری بیشترین مقدار تیمول و کارواکرول در گیاهان تحت تیمار را نشان دادند. افزایش شدت پرتودهی گاما از صفر به ۲۰۰ گری سبب افزایش ارتفاع بوته، طول میانگره، تعداد گره، طول و عرض برگ، تعداد شاخه فرعی و قطر ساقه، تعداد گل‌آذین و گل در گل‌آذین شده است (۷).

با توجه به موارد بررسی شده، می‌توان نتیجه گرفت که هر نوع گیاهی و هر صفتی از گیاهان می‌تواند تحت تأثیر جهش قرار گیرد. در مقایسه با دیگر گیاهان زراعی و بر اساس تعداد مقالات ارائه شده، القا جهش در دستیابی به اهداف اصلاحی در میوه‌های ریز نقش مهمی را ایفا نکرده‌اند که دلیل این امر، عدم آگاهی و عدم استفاده مناسب از پتانسیل به‌نژادی در این جنس‌های گیاهی ذکر شده است (۱۳).

با توجه به این که توت‌فرنگی معمولاً با استفاده از ارقام و ژنوتیپ‌های محدود و به‌صورت رویشی تکثیر می‌شود، لذا انتظار می‌رود از تنوع ژنتیکی زیادی برای استفده از دورگ‌گیری و رفع مشکلات احتمالی در تولید توت‌فرنگی برخوردار نباشد. بنابراین، استفاده از روش القا جهش می‌تواند برای افزایش تنوع ژنتیکی توت‌فرنگی مد نظر قرار گیرد. لذا، این پژوهش به‌منظور بررسی حساسیت گیاه توت‌فرنگی به دُزهایی از اشعه گاما و همچنین تعیین دُز مناسب برای ایجاد تنوع ژنتیکی، طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال ۹۲-۱۳۹۱ انجام پذیرفت. برای انجام آزمایش، ۲۴۰ نشای توت فرنگی رقم کردستان، گیاهچه‌های پاییزه سالم و در حالت نیمه‌خواب حاصل از تکثیر رویشی (رانر) گیاهان مادری، از ایستگاه تحقیقات کشاورزی چم‌خانی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یاسوج تهیه شدند گیاهچه‌ها برای پرتودهی گاما به پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران در کرج ارسال شدند. برای پرتودهی گاما، نشاها به‌صورت دسته‌های ۶ تایی تفکیک و برگ‌های آنها به‌طور کامل هرس شده تا تنها جوانه مرکزی نشا باقی بماند و در دستگاه گاماسل مدل PX- 30 با منبع کبالت ۶۰ در معرض دُزهای مورد نظر (صفر (شاهد)، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ گری) قرار گرفتند.

پس از اعمال تیمار پرتودهی اشعه گاما، بوته‌ها به گلخانه انتقال داده شدند و درحوضچه آب Celpake برای تحریک ریشه‌زایی قرار گرفتند. واحدهای آزمایش شامل گلدان‌هایی به‌طول ۱ متر، عرض ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر بودند. گلدان‌ها با قارچ‌کش بنومیل با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام شستشو داده شدند و سپس با استفاده از کوکوپیت و پرلیت به‌نسبت ۱:۱ پر

www.SID.ir

Archive of SID

شدند. پس از آماده سازی گلدان‌ها، در هر گلدان ۲۰ نشای توت‌فرنگی کاشته شدند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. دمای مورد استفاده برای کشت در گلخانه شامل ۳±۲۰ درجه سلسیوس در روز و ۳±۱۶ درجه سلسیوس در شب بود. میزان رطوبت نسبی ۵ ±۵۰ درصد، و طول دوره روشنایی بر اساس شرایط طبیعی در نظر گرفته شد.

پس از مراقبت‌های لازم، داده‌های مربوط به تعداد برگ، سطح و کلروفیل برگ، طول، قطر، وزن تر و خشک، حجم و وزن مخصوص میوه، و به‌همین ترتیب ویژگی‌های شکل، بافت، قند، pH، آب‌میوه، اسیدیته، شاخص طعم و آنتوسیانین میوه و شاخص‌های *a، *b و *L رنگ، در آزمایش به‌منظور مشاهده و مطالعه تغییرات، جمع‌آوری شدند.

شمارش تعداد برگ‌ها تا پیش از اولین گل‌دهی انجام گرفت. سطح برگ هر بوته به‌کمک دستگاه سطح برگ‌سنج AM200 برحسب میلی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. برای تعیین شاخص اسپد مربوط به کلروفیل برگ، از دستگاه اسپد (SPAD-502 Readings, Minolta, Japan) روی برگ‌های جوان استفاده شد. برای تعیین طول میوه، فاصله قاعده تا انتهای آن، و برای تعیین قطر میوه، پهنای آن بین دو شاخک کولیس قرار داده شده و برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شدند. شکل میوه از طریق محاسبه نسبت طول به قطر میوه تعیین شد. وزن تر میوه‌ها پس از برداشت با ترازو (مدل Adam ساخت کشور انگلیس) با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. پس از آن، میوه‌های بررسی شده به‌مدت ۷۲ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در دستگاه آون قرار داده شدند و مجدداً برای محاسبه وزن خشک میوه‌ها توزین شدند. برای اندازه‌گیری وزن مخصوص، ابتدا وزن معینی از میوه اندازه‌گیری شد و سپس حجم آن در یک ظرف مدرج که حاوی آب بود، اندازه‌گیری شده و از نسبت این دو، وزن مخصوص محاسبه شد. برای تعیین قند یا مواد جامد محلول میوه (درجه بریکس)، از روش رفراکتومتری با دستگاه رفراکتومتر استفاده شد. ابتدا، رفراکتومتر ATAGO (مدل E1، ساخت کشور ژاپن) با استفاده از آب مقطر واسنجی شد و سپس یک قطره از عصاره میوه روی منشور شیشه‌ای ریخته شد و با مشاهده از طریق چشمی دستگاه در مقابل نور، عدد بریکس که عمدتاً نشانه میزان قند موجود در داخل میوه است، قرائت شد (واحد بریکس برابر با گرم قند موجود در ۱۰۰ گرم عصاره میوه است) (۴۶).

سفتی بافت با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (Texture Analyzer مدل CT3- 1000, BrookField، ساخت آمریکا) اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که میوه‌ها از وسط نصف شده و در زیر دستگاه با پروب ۴ و با انتخاب ۳۰ میلی‌متر فاصله و سرعت ۱ mm/s فشار مورد نیاز برای نفوذ به بافت میوه اندازه‌گیری شد.

غلظت آنتوسیانین به روش واگنر (۴۷) اندازه گرفته شد. شاخص طعم از نسبت مواد جامد قابل حل به‌دست آمده از روش رفراکتومتری به اسیدهای آلی به‌دست آمده از روش تیتراسیون محاسبه شد. رنگ میوه با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج Conica (مدل Minolta CR- 400، ساخت کشور ژاپن) اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش رنگ شامل سه شاخص هانتر *a، *b و *L است که *L نماد روشنایی رنگ (از صفر برای سیاه تا ۱۰۰ برای سفید)، *a نماد سبزی تا قرمزی رنگ (۶۰- برای سبز و ۶۰+ برای رنگ قرمز) و *b نماد آبی تا زرد (از ۶۰- برای آبی تا ۶۰+ برای زرد) است.

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین دُزهای مختلف (تیمارها) پرتو گاما با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات رویشی

جدول (۱)، نتایج تجزیه واریانس صفات رویشی را نشان می‌دهد. اثر پرتو گاما بر ویژگی‌های تعداد و سطح برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود؛ ولی بر میزان کلروفیل برگ از نظر آماری تأثیری نداشت.

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای پرتودهی گاما بر صفات

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. تجزیه واریانس مربوط به صفات رویشی مورد بررسی متأثر از تیمارهای پرتو گاما

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد برگ	سطح برگ	کلروفیل
بلوک	۲	۶/۹۴^{ns}	۰/۰۴۷^{ns}	۱/۲۸^{ns}
گاما	۴	۱۹/۵۴**	۰/۲۲۲**	۳/۰۵^{ns}
خطای آزمایشی	۸	۲/۲۵	۰/۰۱۱	۲/۸۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۱۳	۳/۲۰	۳/۱۳

** و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و بدون اثر معنی‌دار

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات رویشی سطوح متفاوت پرتوتابی

سطح پرتوتابی گاما (گری)	تعداد برگ	لگاریتم سطح برگ* ($Log\ mm^2$)
۰	۹/۱۳^{b}	۳/۷۰۱^{a}
۱۵	۱۴/۹۰^{a}	۳/۲۵۹^{b}
۳۰	۱۳/۸۴^{a}	۳/۱۷۵^{bc}
۶۰	۱۵/۶۹^{a}	۳/۱۳۵^{bc}
۹۰	۱۳/۸۲^{a}	۲/۹۷۹^{c}
$LSD_{0.05}$	۲/۸۲	۰/۱۹۶

*برای تأمین شرایط لازم برای تجزیه واریانس برای سطح برگ اندازه‌گیری شده، از تبدیل لگاریتمی استفاده شد. در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

رویشی (جدول ۲) نشان داد که از لحاظ تعداد برگ، بین شاهد و تمامی تیمارهای دریافت کننده پرتو گاما، تفاوت معنی‌داری وجود دارد و تعداد برگ در گیاهان اشعه دیده افزایش پیدا کرده است. با توجه به نتیجه حاصل، می‌توان بیان نمود که به‌نظر می‌رسد پرتو گاما باعث ایجاد پربرگی در بوته‌ها می‌شود. تیمار ۶۰ گری با میانگین ۱۵/۶۹، بیشترین تعداد برگ را بین تیمارها داشت که با تیمارهای ۱۵، ۳۰ و ۹۰ گری تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین تعداد برگ مربوط به تیمار شاهد با میانگین ۹/۱۳ بود. این نتیجه با نتایج دوبی و همکاران (۱۸) روی گیاه بامیه و یونسی (۱۱) روی گیاه سویا همخوانی دارد. این دانشمندان دریافتند زمانی که گیاه با دُزهای مختلف اشعه گاما پرتودهی می‌شوند، افزایش تعداد برگ در گیاه رخ می‌دهد. این در حالی است که در بابونه آلمانی، کاربرد اشعه گاما در دامنه صفر تا ۲۰ گری تأثیری بر عملکرد برگ نداشته است (۵). در مورد ویژگی سطح برگ گیاهان توت‌فرنگی نیز اختلاف بین تیمار شاهد و دیگر تیمارها در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد. میزان سطح برگ در شاهد با میانگین حدود ۵۴۶۷ میلی‌متر مربع، بیشتر از گیاهان دریافت‌کننده پرتو گاما بود و با افزایش دُز پرتو گاما، سطح برگ کاهش بیشتری را نشان داد. به‌طور کلی، در بوته‌های پرتودیده نسبت به شاهد، کوتولگی و کاهش ارتفاع دیده شد (مشاهدات عینی). کاهش ارتفاع و کوتولگی با یافته‌های مؤمنی و همکاران (۹) روی کلزا، ونگ و همکاران (۴۸) و باقری و همکاران (۲) روی برنج، خان و تیاگی (۳۴) روی سویا، هاسلمن (۲۷) روی پاپایا، مولینا و همکاران (۳۹) روی نخود و در خردل (۴۱) همخوانی داشت. پاکوتاهی و پُربرگی بر اساس نظر دیگر پژوهشگران ناشی از تأثیر جهش بر مسیر بیوسنتزی جیبرلیک اسید (۹) و تأثیر بر پروتئین‌های لازم برای رشد در گیاهان (۲۶) گزارش شده است. بر خلاف نتایج

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. تجزیه واریانس مربوط به صفات کمّی میوه متأثر از تیمارهای پرتو گاما

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول	قطر	وزن تر	وزن خشک	حجم	وزن مخصوص
بلوک	۲	۰/۰۲۴^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۳۰۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۲۵۰^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}
تیمار	۴	۰/۱۰۰*	۰/۱۵۰**	۴/۱۵۱**	۰/۰۲۶**	۴/۲۴۱**	۰/۰۰۰۴^{ns}
خطای آزمایشی	۸	۰/۰۲۶	۰/۰۰۴	۰/۲۷۹	۰/۰۰۲	۰/۲۸۳	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات (٪)		۸/۴۳	۳/۸۸	۱۲/۳۳	۱۰/۲۱	۱۲/۲۱	۱/۴۶

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اثر معنی‌دار

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات کمّی میوه در سطوح متفاوت پرتوتابی

سطح پرتوتابی گاما (gray)	طول (cm)	قطر (cm)	وزن تر (g)	وزن خشک (g)	حجم (ml)
۰	۲/۲۱۸^{a}	۱/۶۸۷^{ab}	۶/۱۸۸^{a}	۰/۶۲۳^{a}	۶/۲۷۸^{a}
۱۵	۱/۸۶۸^{b}	۱/۶۲۹^{b}	۴/۲۹۳^{b}	۰/۴۳۹^{b}	۴/۳۳۸^{b}
۳۰	۱/۹۳۱^{ab}	۱/۷۴۷^{a}	۴/۳۰۸^{b}	۰/۴۳۶^{b}	۴/۴۲۸^{b}
۶۰	۱/۷۷۶^{b}	۱/۳۱۸^{c}	۳/۴۰۲^{bc}	۰/۳۸۶^{b}	۳/۵۰۸^{bc}
۹۰	۱/۷۷۲^{b}	۱/۲۵۹^{c}	۳/۲۲۱^{c}	۰/۴۲۵^{b}	۳/۲۴۴^{c}
$LSD_{0.05}$	۰/۳۰۴	۰/۱۱۲	۰/۹۹۵	۰/۰۸۹	۱/۰۰۲

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

حاصل از این آزمایش و گزارش‌هایی مطابق آن، افزایش ارتفاع بوته بر اثر کاربرد اشعه گاما در آویشن باغی (۷) نیز گزارش شده است.

میزان کلروفیل برگ در توت‌فرنگی‌های دریافت‌کننده تیمارهای پرتودهی گاما نسبت به تیمار شاهد کاهش داشت؛ ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۱). لذا، می‌توان گفت ژن (های) مؤثر بر کلروفیل در توت‌فرنگی تحت تأثیر شدت اشعه به‌کار برده شده قرار نگرفته است. این در حالی است که استفاده از اشعه گاما در گندم، سبب افزایش کلروفیل شده است (۳).

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات کمّی میوه

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های کمّی میوه (جدول ۳) نشان داد اثر پرتودهی گاما بر ویژگی‌های قطر، وزن تر، وزن خشک و حجم میوه در سطح احتمال ۱٪ و بر طول میوه در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. از سوی دیگر، اثر پرتودهی گاما بر وزن مخصوص میوه از نظر آماری معنی‌دار نبود.

مقایسه میانگین اثر دُزهای متفاوت پرتودهی گاما بر طول میوه نشان داد که برای این ویژگی، دُزهای مختلف پرتودهی گاما بجز دُز ۳۰ گری، اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشتند (جدول ۴). بیشترین میانگین طول میوه مربوط به تیمار شاهد (بدون دریافت پرتو گاما) با میزان ۲/۲۱۸ سانتی‌متر و کمترین میانگین طول میوه (۱/۷۷۲ سانتی‌متر) مربوط به تیمار ۹۰ گری بود، که در این آزمایش بیشترین دُز پرتو گاما را در بین تیمارها دریافت کرده بود. به‌طور کلی، به‌نظر می‌رسد که با افزایش دُز پرتو گاما، طول میوه کاهش پیدا کرده است. کاهش طول میوه بر اثر پرتو گاما روی توت‌فرنگی توسط تانه و همکاران (۴۴) نیز گزارش شده است. از سوی دیگر، بر خلاف نتایج این

www.SID.ir

Archive of SID

آزمایش، افزایش در طول میوه و اندازه آن در پاپایا (۱۵ و ۲۷) گزارش شده است.

نتایج مقایسه میانگین اثر دُزهای متفاوت تیمار پرتودهی بر قطر میوه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین شاهد با میانگین ۱/۶۸۷ سانتی‌متر با تیمارهای ۶۰ و ۹۰ گری به‌ترتیب با میانگین ۱/۳۱۸ و ۱/۲۵۹ سانتی‌متر به‌عنوان تیمارهایی با دُز بالای اشعه گاما وجود داشت (جدول ۴). ولی دو دُز ۱۵ و ۳۰ گری که به‌عنوان دُز کم پرتو گاما انتخاب شدند، اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان ندادند. همچنین، بین دو گروه پرتو گاما، یعنی تیمارهای ۱۵ و ۳۰ گری با تیمارهای ۶۰ و ۹۰ گری، اختلاف معنی‌داری وجود داشت. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، اگرچه نظم خاصی در تغییر اندازه قطر در دزهای کم اشعه گامای به‌کار برده شده دیده نمی‌شود، ولی می‌توان گفت که با افزایش دز اشعه گاما، در دزهای حدود ۶۰ و یا بیشتر، قطر میوه در توت فرنگی کاهش یافته است. این در حالی است که در پاپایا، عرض میوه مانند طول آن و برخلاف نتایج دیده شده در توت‌فرنگی، تحت تأثیر اشعه گاما افزایش داشته است (۱۵ و ۲۷). به‌نظر می‌رسد که با کاهش سطح برگ و بنابراین میزان فتوسنتز، کاهش عملکرد، کوچکی میوه و کلاً کوتولگی در گیاهان دریافت کننده پرتو گاما مشاهده می‌شود.

مقایسه میانگین اثر دُزهای متفاوت پرتودهی گاما بر وزن تر میوه توت‌فرنگی در جدول (۴) نشان داده شده است. تیمارهای پرتودهی گاما اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشتند. بیشترین میانگین وزن تر میوه، مربوط به تیمار شاهد با میزان ۶/۱۸۸ گرم، و کمترین وزن تر با میانگین ۳/۲۲۱ گرم مربوط به تیمار ۹۰ گری بود. با توجه به این نتیجه می‌توان گفت که با افزایش دُز پرتو گاما، وزن تر میوه در گیاه توت‌فرنگی روند کاهشی داشته است. همچنین، بین تیمارهای ۱۵ و ۳۰ گری با تیمار ۹۰ گری تفاوت معنی‌داری وجود داشت. مقایسه میانگین اثر دُزهای متفاوت پرتودهی گاما بر وزن خشک میوه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین شاهد و تیمارها وجود دارد (جدول ۴). بیشترین میزان وزن خشک میوه، با میانگین ۰/۶۲۳ گرم، مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن، با میانگین ۰/۳۸۶ گرم، مربوط به تیمار ۶۰ گری بود. از نظر حجم میوه نیز اختلاف معنی‌داری بین شاهد و گیاهان پرتودیده مشاهده شد و با افزایش دُز پرتودهی گاما، حجم میوه نیز کاهش پیدا کرد. اگرچه این کاهش به‌صورت یکنواخت نبود. حداکثر میانگین ۶/۲۷۸ میلی‌لیتر مربوط به شاهد و حداقل میانگین ۳/۲۴۴ میلی‌لیتر مربوط به تیمار ۹۰ گری بود. همچنین، تفاوت معنی‌داری با اطمینان ۹۵٪ بین تیمار ۱۵ با ۹۰ گری و تیمار ۳۰ با ۹۰ گری دیده شد. وزن میوه در پاپایا (۲۷) و وزن هزار دانه در شلغم (۳۲) بر اثر کاربرد اشعه گاما افزایش نشان داده است (۲۷) که متفاوت از نتیجه حاصل از این پژوهش و کاهش وزن میوه ناشی از کاربرد اشعه گاما است. اثر کاهشی کاربرد اشعه گاما بر وزن هزار دانه کلزا (۹) نیز گزارش شده است که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات کیفی میوه

جدول (۵)، نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های کیفی میوه را نشان می‌دهد. اثر پرتودهی گاما بر شکل ، قند و آنتوسیانین میوه با اطمینان ۹۵٪، و بر اسیدیته میوه، میزان آب‌میوه و شاخص طعم میوه با اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار شد. این در حالی است که پرتودهی گاما بر ویژگی‌های بافت میوه، pH، شاخص‌های رنگ a* ، b* و L* میوه تأثیر معنی‌داری نداشت.

مقایسه میانگین اثر دُزهای متفاوت پرتودهی گاما بر شکل میوه (جدول ۶) نشان داد که بین تیمار شاهد با میانگین ۱/۳۵۵ و دو تیمار ۱۵ و ۳۰ گری به‌ترتیب با میانگین ۱/۱۷۰ و ۱/۱۲۲، با اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد. از طرفی، تیمارهای ۱۵ و ۳۰ گری نیز اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۶۰ و۹۰ گری در سطح احتمال ۵٪ نشان دادند. کاهش شکل میوه، با توجه به نحوه محاسبه آن، می‌تواند به‌دلیل کاهش طول میوه و یا افزایش قطر آن باشد. با توجه به اینکه در این آزمایش، طول و قطر میوه هر دو کاهش یافته است و از طرفی با توجه به کاهش شاخص شکل میوه، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. تجزیه واریانس مربوط به صفات کیفی میوه تحت تأثیر تیمارهای پرتو گاما

منابع تغییرات	درجه آزادی	شکل	بافت	قند	pH	آب‌میوه	اسیدیته	شاخص طعم	آنتوسیانین	L†	a†	b†
بلوک	۲	۰/۰۲۵^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۱۱^{ns}	۰/۰۳۲^{ns}	۰/۰۳۲^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۰۳۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۴۸^{ns}	۰/۷۰۹^{ns}	۱/۴۰^{ns}
تیمار	۴	۰/۰۵۰*	۰/۰۱۲^{ns}	۱۱/۰۲*	۰/۰۳۹^{ns}	۲/۲۱۵**	۰/۶۶۲^{ns}	۰/۳۶۲**	۰/۰۰۰۳۹*	۸/۸۷^{ns}	۲/۰۰۰^{ns}	۲/۳۶^{ns}
خطای آزمایشی	۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۱/۹۵	۰/۰۴۲	۰/۱۹۳	۰/۵۰۹	۰/۰۴۰	۰/۰۰۰۱	۲/۸۹	۰/۹۵۳	۴/۲۰
ضریب تغییرات (٪)		۷/۴۱	۵/۸۸	۱۴/۷۴	۵/۴۷	۱۲/۶۰	۱۷/۴۵	۸/۳۲	۱۳/۴۰	۴/۷۱	۲/۷۴	۸/۲۹

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اثر معنی‌دار

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات کیفی میوه در سطوح متفاوت پرتوتابی

سطح پرتوتابی گاما (gray)	شکل	قند (Brix)	آب‌میوه (ml)	شاخص طعم	آنتوسیانین (mol/g fruit)
۰	۱/۳۵۵^{a}	۶/۷۰۷^{c}	۴/۹۱۱^{a}	۲/۰۳۰^{b}	۰/۰۵۸^{b}
۱۵	۱/۱۷۰^{b}	۱۰/۳۶۹^{ab}	۳/۴۳۶^{b}	۲/۸۲۹^{a}	۰/۰۸۴^{a}
۳۰	۱/۱۲۲^{b}	۱۱/۴۹۲^{a}	۳/۴۲۳^{b}	۲/۵۲۶^{a}	۰/۰۸۶^{a}
۶۰	۱/۳۵۳^{a}	۱۰/۴۶۷^{ab}	۲/۹۴۵^{b}	۲/۵۵۴^{a}	۰/۰۷۶^{ab}
۹۰	۱/۴۱۸^{a}	۸/۳۸۸^{bc}	۲/۶۹۶^{b}	۲/۰۵۱^{b}	۰/۰۷۰^{ab}
$LSD_{0.05}$	۰/۱۷۹	۲/۶۳۳	۰/۸۲۶	۰/۳۷۶	۰/۰۱۹

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

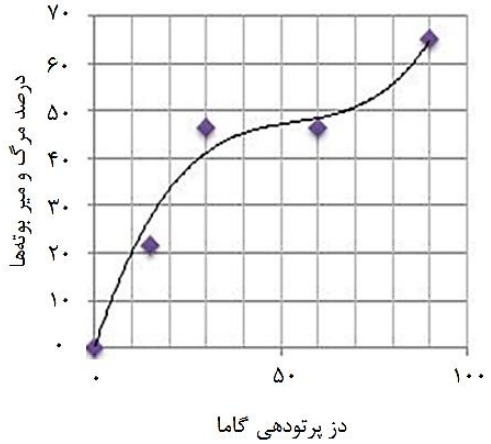
طول میوه بر اثر کاربرد اشعه گاما شدیدتر بوده است. کاهش شکل میوه و به نوعی ریز شدن میوه در توت‌فرنگی و یا مشاهده میوه‌های قلبی شکل در توت‌فرنگی (۴۴) قبلاً گزارش شده است که به نوعی با نتایج حاصل از این آزمایش همخوانی دارد.

مقایسه میانگین دُزهای متفاوت پرتودهی گاما از نظر قند میوه نشان می‌دهد که همه تیمارهای دریافت‌کننده پرتو گاما به جز تیمار ۹۰ گری، اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان دادند (جدول ۶). کمترین میانگین قند میوه مربوط به تیمار شاهد با میزان ۶/۷۰۷ بریکس، و بیشترین میزان قند با میانگین ۱۱/۴۹۲ بریکس مربوط به تیمار ۳۰ گری بود. به‌نظر می‌رسد که پرتو گاما باعث افزایش میزان قند میوه‌ها شده است؛ هر چند که این تغییرات به‌صورت یکنواخت نبوده است. مقایسه میانگین تیمارهای متفاوت پرتودهی گاما از لحاظ صفت آنتوسیانین میوه (جدول ۶) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین شاهد با تیمارهای ۱۵ و ۳۰ گری وجود دارد. کمترین میزان آنتوسیانین مربوط به شاهد با میانگین ۰/۰۵۸ مول بر گرم و بیشترین میزان آن مربوط به تیمار ۳۰ گری با میانگین ۰/۰۸۶ مول بر گرم بود. مقایسه میانگین شدت‌های متفاوت پرتودهی گاما میزان آب‌میوه (جدول ۶) نیز نشان داد که تمامی تیمارهای دریافت‌کننده دُزهای گاما، اختلاف معنی‌داری با شاهد با اطمینان ۹۵٪ داشتند. بیشترین میزان آب‌میوه، مربوط به شاهد با میانگین حدود ۴/۹۱ سی‌سی و کمترین میزان آن با میانگین ۲/۶۹۶ سی‌سی مربوط به تیمار ۹۰ گری بود. با توجه به نتایج حاصل از این صفت، می‌توان گفت که پرتودهی گاما باعث کاهش میزان آب‌میوه می‌شود. از لحاظ شاخص طعم (جدول ۶) تیمار شاهد با تیمارهای دریافت کننده پرتو گاما به‌جز تیمار ۹۰ گری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ نشان داد. کمترین میانگین از نظر شاخص طعم مربوط به شاهد با میانگین ۲/۰۳، و بیشترین میانگین مربوط به تیمار ۱۵ گری با میانگین ۲/۸۲۹ بود. حصول محتوی بیشتر قند در توت‌فرنگی تحت تأثیر اشعه گاما گزارش شده است (۲۶). این در حالی است که تغییر در میزان قند میوه روند مشخصی با افزایش شدت تابش اشعه نداشته، اگرچه در تمامی موارد، گیاهان پرتو دیده قند بیشتری داشته‌اند. افزایش قندهای محلول در گندم بر اثر پرتو گاما نیز گزارش شده است (۳).

مقایسه میانگین تیمارها برای صفات مورد مطالعه نشان داد که گیاهان پرتودیده دارای مقدار کمتری از نظر بیشتر صفات مورد بررسی به‌جز سه صفت تعداد برگ، میزان قند و آنتوسیانین نسبت به شاهد هستند. به‌عبارتی، جهش‌های القایی با استفاده از جهش‌زاهای فیزیکی و یا شیمیایی، با توجه به اینکه تصادفی عمل می‌کنند، اغلب جهش‌های نامطلوب هستند. علی‌رغم نامطلوب بودن بسیاری از نتایج به‌دست آمده از جهش‌های حاصل از جهش‌زاهای فیزیکی و شیمیایی، می‌توان

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. روند تغییر در میزان مرگ و میر گیاهی تحت تأثیر پرتوی گاما برای تعیین دُز مناسب پرتوتابی

در دستیابی به نتایج مفید و مطلوب نظیر ایجاد مقاومت القایی نیز امیدوار بود (۱۱).

کاهش در میزان صفات مطالعه شده، به‌ویژه صفات عملکرد و اجزای عملکرد، در گیاهان پرتودیده در این آزمایش در مقایسه با شاهد نشان داد که اشعه گاما از نظر صفات سطح برگ، طول و قطر میوه، شکل میوه، وزن تر و خشک، حجم میوه، آب‌میوه و شاخص طعم اثر منفی و از نظر تعداد برگ، صفت قند و آنتوسیانین اثر مثبتی داشته است. اشعه گاما با دُزهای مختلف آثار متفاوتی بر سلول‌های گیاهی دارد که بسته به ژنتیک و مقاومت متفاوت سلول‌ها نسبت به پرتو گاما، پاسخ‌های گوناگونی از سلول‌ها دیده می‌شود. مشاهده شده که پرتو گاما با دُزهای نسبتاً کم موجب افزایش تکثیر سلولی و در نتیجه افزایش رشد و همچنین افزایش فعالیت‌های سوخت و سازی به‌دنبال افزایش مقدار و فعالیت برخی از آنزیم‌ها می‌شود (۱۶). دُزهای زیاد پرتو گاما به‌دلیل آثار مخرب روی ژنوم سلول باعث توقف چرخه سلولی در مرز G2 و M و در نتیجه توقف تقسیم سلولی و در برخی موارد به‌دلیل یونیزاسیون بسیار شدید و تخریب ماکرومولکول‌های زیستی، موجب مرگ سلول و در نهایت مرگ گیاه می‌شوند (۶). به‌طور کلی، می‌توان گفت که کارایی موتاژنی پرتو گاما در ایجاد تغییرات مطلوب در صفات مورد بررسی بسته به‌نوع صفت، نوع رقم و دُز مورد مصرف آن متفاوت است.

تعیین دُز مناسب پرتودهی برای ایجاد جهش

با توجه به شکل (۱) می‌توان بیان کرد که دُز مناسب پرتودهی گاما برای ایجاد جهش در دامنه بین ۴۰ تا ۶۰ درصد (با میانگین حدود ۵۰٪ مرگ و میر گیاهی= LD_{50}) گیاهان از بین رفته، در حدود ۶۰ الی ۷۵ گری است، که دُز پیشنهادی برای داشتن نزدیک به ۵۰٪ مرگ و میر نمونه‌های گیاهی، بین ۶۵ تا ۷۰ گری در نظر گرفته می‌شود. LD_{50} گزارش شده بر ای کاربرد اشعه گاما در توت‌فرنگی ۵۲ گری (۴۴) و بین ۵۰ تا ۱۰۰ گری (۳۰) گزارش شده است. تفاوت در میزان LD50 گزارش شده برای توت‌فرنگی در نتایج حاصل از این آزمایش و گزارش‌های دیگر نشان از حساسیت متفاوت ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف حتی یک گونه گیاهی، به اشعه گاما دارد. با این وجود می‌توان بر اساس نتایج به‌دست آمده، حدود شدت اشعه لازم برای پرتودهی را مشخص کرد.

بررسی رگرسیونی اثر پرتو گاما نشان داد که درصد گیاهان از بین رفته، علاوه بر رابطه خطی نقطه به نقطه، به‌طور کلی، به‌صورت رابطه درجه سه واکنش نشان می‌دهند. به‌عبارت دیگر، یک رابطه درجه سه بین دُز اشعه و مقدار گیاهان از بین رفته دیده شد که فرمول آن به‌صورت زیر بود:

$$Y = ۰/۰۰۰۲۷X^۳ - ۰/۰۴۳۴X^۲ + ۲/۴۴۲X, R^۲ = ۰/۹۷ \quad [۱]$$

که در آن Y درصد مرگ و میر گیاهی و X میزان پرتودهی گاما بر حسب گری است. نتایج ناصریان‌خیابانی (۱۰) روی نخود

www.SID.ir

Archive of SID

سفید نیز نشان داد که درصد گیاهان از بین رفته علاوه بر رابطه خطی، به‌صورت رابطه درجه سه با دُز اشعه ارتباط دارد. احتمالاً این رابطه در نتیجه افزایش شکست‌های کروموزومی در اثر افزایش دُز پرتو گاما است. چرا که قبلاً نیز از سوی ناصریان خیابانی (۱۰) عنوان شده است که با افزایش انرژی یا شدت پرتو، فراوانی شکست‌های چندگانه در طول کروموزوم‌ها افزایش یافته و میزان تخریب‌های کروموزمومی با اثرهای زیستی آن‌ها رابطه دارد.

شجاعی و همکاران (۶) به نقل از دیگر محققان بیان کردند که پرتو گاما، بازهای نیتروژنی زنجیره DNA را در طول سنتز آن در طی جهش یونیزه می‌کند و در نتیجه بازهای یونیزه شده با بازهای دیگر در زنجیره جدید DNA اشتباه شده و یک تغییر دائمی تولید خواهد شد. بنابراین، آثار تخریبی پرتو بر سلول‌ها و ایجاد جهش‌های نامطلوب مانند حذف، شکستگی، جابه‌جایی در ساختمان کروموزوم‌ها و نیز اثرهای مخرب ناشی از رادیکال‌های آزاد و دیگر مواد بازدارنده رشد سلول‌ها در اثر تیمار پرتو گاما را می‌توان به‌عنوان علل مرگ و عدم زنده‌مانی سلول‌ها ذکر کرد. در مجموع، می‌توان گفت که احتمالاً پرتو گاما آثار مخربی بر سلول‌ها و در نتیجه بر گیاه داشته و با افزایش دُز پرتودهی، اثرهای مخرب نیز بیشتر می‌شود.

نتایج پژوهش حاضر با نتایج یاگو و موواریس (۵۰) و همچنین کالو و همکاران (۳۳) همخوانی داشت. این پژوهشگران اظهار داشتند که فراوانی و گستره جهش به‌شدت تابش اشعه بستگی داشته و افزایش در شدت تابش اشعه سبب افزایش میزان جهش‌ها می‌شود، و میزان بیشتر تابش سبب افزایش مرگ و میر شده و اثر منفی بر توانایی باززایی موجود زنده می‌گذارد. این محققان همچنین نتیجه گرفته‌اند که مقدار بهینه تیمار براساس میزان زنده‌مانی مواد گیاهی تیمارشده تعیین می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که پرتودهی گاما باعث پُربرگی در گیاه توت‌فرنگی شده و لذا تعداد برگ‌ها با افزایش شدت اشعه بر گیاهان، افزایش یافته است. این در حالی است که با افزایش شدت اشعه در گیاه توت‌فرنگی، سطح برگ کاهش نشان داده است. از سوی دیگر، با توجه به تغییرات مشاهده شده در گیاهان مورد بررسی در این آزمایش، استفاده از پرتودهی گاما باعث کوتولگی و کاهش در ارتفاع بوته می‌شود. همچنین، در این پژوهش، مشخص شد که استفاده از اشعه گاما باعث کاهش طول، قطر، وزن تر، وزن خشک و حجم میوه شده است. شکل میوه و میزان آب‌میوه استحصالی نیز از جمله ویژگی‌هایی بودند که با افزایش شدت اشعه گامای دریافتی گیاهان، کاهش پیدا کرد. این در حالی است که قند و آنتوسیانین میوه با افزایش شدت اشعه دریافتی، افزایش نشان دادند. نتایج حاصل از این آزمایش یکبار دیگر نشان داد که جهت تغییرات حاصل از کاربرد اشعه گاما قابل پیش‌بینی نیست و بنابراین تصادفی بودن تغییرات مجدداً اثبات می‌شود. با این وجود، به نظر می‌رسد که می‌توان این انتظار را داشت که با تعیین شدت اشعه گاما بر اساس LD_{50}، میزان تغییرات قابل تحمل برای گیاه بیشتر باشد و سپس بر اساس تغییرات مشاهده شده اقدام به انتخاب صفات مطلوب کرد.

نتایج حاصله مربوط به اولین نسل پس از دریافت اشعه گاما بوده و لذا بر اساس علم به‌نژادی گیاهی و ژنتیک، اینگونه گیاهان را گیاهان M_1 می‌گویند (۲۳). طبیعتاً، با توجه به اینکه گیاهان مورد استفاده تماماً از گیاهان دختری رقم کردستان بوده‌اند، می‌توان انتظار داشت که سهم زیادی از تغییرات مشاهده شده بین شاهد و دیگر تیمارهای دریافت کننده اشعه گاما به‌دلیل تغییرات حاصل از اثر اشعه دریافتی باشد. البته بایستی این مطلب را نیز اضافه نمود که این تغییرات ممکن است به‌دلیل تغییرات ژنتیکی ناشی از جهش توارث‌پذیر و قابل انتقال به نسل‌های بعد باشند؛ و یا قابل انتقال به نسل‌های بعد نباشند و لذا تغییرات ناشی از تغییرات ژنتیکی یا جهش نبوده‌اند.

نتیجه مهم دیگری که از این آزمایش حاصل شد، میزان دُز

www.SID.ir

Archive of SID

مناسب اشعه گاما برای گیاه توت‌فرنگی بود که بر اساس درصد گیاهان زنده‌مانده متأثر از اشعه گاما فراهم شد. با توجه به نتیجه حاصله، دُز مناسب اشعه گاما برای توت‌فرنگی بین ۶۵ تا ۷۰ گری گزارش می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از سرکار خانم مهندس فریماه یوسفی به‌خاطر همکاری‌های صورت گرفته در مراحل مختلف اجرای این آزمایش صمیمانه قدردانی می‌کنند.

منابع مورد استفاده

۱. آمارنامه کشاورزی. ۱۳۹۶. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴. جلد سوم، محصولات باغی، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، تهران. http://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/amarnamehj3-95-site.pdf

۲. باقری، ل.، ر. امیریخواه، م. نوری و ک. مظفری. ۱۳۹۶. اثر پرتو گاما بر میزان رشد و تعیین دُز مناسب به‌منظور افزایش تنوع ژنتیکی در ارقام بومی برنج (*Oryza sativa* L.). پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی ۹(۲۱): ۱۳۰-۱۳۸.

۳. برزوئی، ا.، م. کافی و ع. مجدآبادی. ۱۳۹۰. اثر پرتوهای گاما بر برخی مکانیسم‌های بیوشیمیایی دو ژنوتیپ گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۲(۵): ۷۵-۸۵.

۴. پالوانه، خ.، ع. قمری زارع، م. لطفی، ط. سهیلا نراقی، ف. اسدی کرم و س. ر. طبائی عقدایی. ۱۳۹۲. بررسی اثر پرتو گاما بر جوانه‌زنی گرده‌ها و جنین‌زایی هاپلوئید بکرزا در گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.). تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران ۲۱(۱): ۴۵-۵۵.

۵. پیرزاد، ع.، م. علیزاده، ع. حسن‌زاده قورت تپه و ر. درویش‌زاده. ۱۳۹۲. تأثیر پیش‌تیمار بذر با اشعه گاما و کود نیتروژن بر عملکرد و کارآیی مصرف نیتروژن بابونه آلمانی (*Matricaria recutita* L.) در تولید پروتئین. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۹(۲): ۲۹۶-۳۱۲.

۶. شجاعی، ب.، ا. احسان‌پور علی‌اکبر و م. ر. عبدی. ۱۳۸۸. اثرات تابش پرتو گاما بر رشد، مقدار پروتئین، قدرت زیست و آسیب-های DNA در سلول‌های کالوس گیاه سیب‌زمینی. مجله زیست‌شناسی ایران ۲۳: ۱۲۵-۱۳۱.

۷. صالحی، ف.، ع. خیری، ع. اسکندری و م. ب. رضایی. ۱۳۹۴. تأثیر پرتودهی اشعه گاما بر صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی *Thymus vulgaris* L. فصلنامه اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی ۳(۳): ۱۰-۲۱.

۸. عبدمیشانی، س. و ع. ا. شاه‌نجات بوشهری. ۱۳۷۸. اصلاح نباتات تکمیلی (جلد اول). انتشارات دانشگاه تهران.

۹. مؤمنی، ر.، ن. بابائیان جلودار و ن. باقری. ۱۳۹۰. مطالعه تأثیر دزهای مختلف اشعه گاما در افزایش تنوع در صفات جوانه‌زنی و زراعی کلزا (*Brassica napus* L.)، نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۹(۳): ۳۳۱-۳۳۹.

۱۰. ناصریان خیابانی، ب.، ح. اهری مصطفوی، ه. فتح‌اللهی، س. ودادی و م. ا. موسوی شلمانی. ۱۳۸۶. تعیین دز مناسب پرتو گاما به‌منظور ایجاد تنوع ژنتیکی در نخود سفید (*Cicer arietinum* L.). مجله علوم و فنون هسته‌ای ۴۲: ۱۹-۲۵.

۱۱. یونسی حمزه‌خانلو، م.، ع. ایزدی دربندی، ن. پیرولی بیرانوند و م. ط. حلاجیان. ۱۳۹۰. بررسی تنوع مورفولوژیک لاین‌های جهش‌یافته نسل هفتم سویای حاصل از پرتودهی با اشعه گاما در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۹: ۹۷-۱۰۵.

12. Bradshaw, J.E. 2016. Plant Breeding: Past, Present and Future. Springer International Publishing, Switzerland, pp. 529-560.
13. Broerfles, C. and A.M. Van Harten. 1988. Developments in Crop Science. Volume 12, Elsevier, Amsterdam.
14. Brunner, H. 1995. Radiation induced mutations in plant selection. Appl. Radiat. Isot. 46(6/7): 589- 594.
15. Chan, Y.K., H.K. Lee and I. Rusna. 2007. Irradiation-induced variations in M2 populations of *Eksotika papaya*. J.

www.SID.ir

Trop. Agric. Food Sci. 35(1): 49-57.
16. Chung, B.Y., Y.B. Lee, M.H. Baek, J.H. Kim, S.G. Wi and S.J. Kim. 2006. Effects of low-dose gamma irradiation on production of shikonin derivatives in callus cultures of *Lithospermum erythrorhizom* S. Radiat. Phys. Chem. 75: 1018-1023.
17. Crespo, P., J. Gine Bordonaba, L.A. Terry and C. Carlen. 2010. Characterization of major taste and health-related compounds of four strawberry genotypes grown at different Swiss production sites. Food Chem. 122: 16-24.
18. Dubey A.K., J.R. Yadav and B. Singh. 2007. Studies on induced mutations by gamma irradiation in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Monch.). Progressive Agric. 7: 46-48.
19. FAO. 2017. The food and agriculture organization corporate statistical database. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
20. FAO/IAEA. 2013. Plant Breeding and Genetics Newsletter 31. Int. Atomic Energy Agency, Vienna. http://www-naweb.iaea.org/nafa/index.html
21. FAO/IAEA. 2014. Plant Breeding and Genetics Newsletter 32. Int. Atomic Energy Agency, Vienna. http://www-naweb.iaea.org/nafa/index.html.
22. Girija, M. and D. Dhanavel. 2009. Mutagenic effectiveness and efficiency of gamma rays ethyl methane sulphonate and their combined treatment in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). Global J. Mol. Sci. 4: 68-75.
23. Govindaraj, M., M. Vetriventhan and M. Srinivasan. 2014. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: An overview of its analytical perspectives. Corporation Genetics Research International, Hindawi Publishing, 2015: 1-14. http://dx.doi.org/10.1155/2015/431487.
24. Gulsen, O., A. Uzun, H. Pala, E. Canihos and G. Kafa. 2007. Development of seedless and Mal secco tolerant mutant lemons through bud wood irradiation. Sci. Hort. 112(2): 184-190.
25. Hancock, J.F., C.E. Finn, J.J. Luby, A. Dale, P.W. Callow and S. Serçe. 2010. Reconstruction of the strawberry, *Fragaria×ananassa*, using genotypes of *F. virginiana* and *F. chiloensis*. HortSci. 45: 1006-1013.
26. Husaini, A.M. and D. Neri. 2016. Strawberry: Growth, Development and Diseases. Boston, MA, CABI, 30.
27. Husselman, J.H., M.S. Daneel, A.D. Sippel and A.A. Severn-Ellis. 2016. Mutation breeding as an effective tool for papaya improvement in South Africa. Acta Hort. 1111: 71-78.
28. IAEA. 2014. Mutant variety search. Available at IAEA mutant variety database: http://mvgs.iaea.org/Search.aspx.
29. Jain, H.K. and M.C. Kharkwal. 2004. Plant Breeding- Mendelian to Molecular Approaches. Narosa Publishing House, New Delhim India, pp. 601-602.
30. Jain, S.M. 1997. Creation of variability by mutation and tissue culture for improving plants. Acta Hort. 447: 69-77.
31. Janick, J. 2015. Plant Breeding Reviews. Volume 39, Wiley-Blackwell, pp. 23-87.
32. Javed, M.A., A. Khatri, I. Ahmad Khan, M. Ahmad, M.A. Siddiqui and A.G. Arain. 2000. Utilization of gamma irradiation for the genetics improvement of oriental mustard (*Brassica juncea*). Pak. J. Bot. 32: 77-83.
33. Kalloo, G., K. Singh and R.D. Bhutani. 1973. Mutations in vegetable crops. The Punjab Hort. J. 13: 63.
34. Khan, M.H. and S.D. Tyagi. 2009. Studies on induction of chlorophyll mutations in soybean (*Glycine max* L. Merrill). Frontiers Agric. China 3: 253-258.
35. Lamo, K., D.J. Bhat, K. Kour and S.P. Singh Solanki. 2017. Mutation studies in fruit crops: A review. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 6(12): 3620-3633.
36. Lim, S., J. Lee, H.J. Lee, K.H. Park, D.S. Kim, S.R. Min, W.S. Jang, T.I. Kim and H. Kim. 2017. The genetic diversity among strawberry breeding resources based on SSRs. Sci. Agric. 74(3): 226-234.
37. Mak, C. and Y.W. Ho. 1998. Banana improvement: Somaclonal variation and in-vitro mutation breeding. 3rd National Congress on Genetics, UKM, Kuala Lumpur, Malaysia.
38. Mohamad, O., M. Abdullah, O. Othman, K. Hadim, J. Mahmud and O. Ramli. 1990. Induced mutations for rice improvement in Malaysia. 2nd International Rice Genetics Symposium, Manila, Philippines.
39. Molina-Cano, J.L., F. Roca de Tgores, C. Royo and A. Perez. 1989. Fast-germination low β-glucan mutants induced in barley with improved malting quality and yield. Theor. Appl. Genet. 78: 748-754.
40. Montero, T.M., E.M. Molla, R.M. Esteban F.J. LopezAndreu. 1996. Quality attributes of strawberry during ripening. Sci. Hort. 65(4): 239-250.
41. Mungprom, A., S.G. Thomas, T.P. Sun and T.C. Osborn. 2005. A novel dwarfing mutation in a green revolution gene from *Brassica rapa*. Plant Physiol. 137(3): 931-938.
42. Parry, M.A.J., P.J. Madgwick, C. Bayon, K. Tearall, A. Hernandez-Lopez, M. Baudo, M. Rakszegi, W. Hamada, A. Al-Yassin, H. Ouabbou, M. Labhilili and A.L. Phillips. 2009. Mutation discovery for crop improvement. J. Exp. Bot. 60(10): 2817-2825.
43. Roest, S. 1977. Vegetative propagation in vitro and its significance for mutation breeding. Acta Hort. 78: 349-359.
44. Thanh, L.T., H.T. Trung, P.V. Nhi and Vu Thi Trac. 2018. Induction of materials for mutation breeding of strawberry (*Fragaria×Ananassa*) by gamma irradiation (Phase 2). Vietnam Atomic Energy Institute, Hanoi, Vietnam, pp. 219-228.

www.SID.ir

Archive of SID

45. Tomlekova, N.B., M.I. Kozgar and M.R. Wani. 2014. Mutagenesis: Exploring Genetic Diversity of Crops. Wageningen Academic Publishers, pp. 41-55.
46. Vandendriessche, T., S. Vermeir, C. Mayayo Martinez, Y. Hendrickx, J. Lammertyn, B. M. Nicolaï and M.L.A.T.M. Hertog. 2013. Effect of ripening and inter-cultivar differences on strawberry quality. LWT- Food Sci. Technol. 52: 62-70.
47. Wagner, G.J. 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanins in protoplasts. Plant Physiol. 64: 88- 93.
48. Wang, G.L., M. Shen, Q.F. Chen and G. Xu. 1995. Preliminary study of mutagenic effects of nitrogen ion implantation in rice. Acta Agric. Nucleate Sinica 9: 73-79.
49. Wani, A. and M. Anis. 2008. Gamma ray- and EMS-induced bold-seeded high-yielding mutants in chickpea (*Cicer arietinum*). Turk. J. Biol. 32: 1-5.
50. Yagyu, P. and R. Morris. 1957. Cytogenetic effects of X-rays and thermal neutrons on dormant tomato seeds. Genetics 42: 222.

www.SID.ir

Archive of SID

Mutation Induction and Creation of Variation in Strawberry, Kurdistan Cultivar, by Gamma Irradiation and Determination of Suitable Irradiation Dosage

H. Razmi[1], R. Amiri Fahliani[1*], B. Kavoosi[2] and A. Masoumi Asl[1]

(Received: 14 March 2018 ; Accepted : 16 November 2018)

Abstract

Genetic diversity in strawberry is low due to its asexual propagation. One method of increasing genetic diversity, as an important tool in plant breeding, is the use of gamma rays to induce mutation. In order to determine the appropriate dosage of gamma irradiation for genetic diversity creation by mutation in strawberry, Kurdistan cultivar, and to study the influence of various doses of gamma ray (zero (control), 15, 30, 60 and 90 gray) on different traits of strawbery, this research was conducted in Faculty of Agriculture, Yasouj University, in 2012-2013. Results showed that irradiated plants had a lower rates in comparison to the control plants for most of the studied characteristics, except for number of leaves, fruit sugar and anthocyanin. Leaf area, fruit length, fruit diameter, fruit fresh and dried weight, and fruit volume, shape, and juice decreased with an increase in the gamma irradiation dosage. Moreover, multifoliate and dwarfism were increased in the irradiated plants. The appropriate dosage of gamma irradiation for mutation induction in strawberry, Kurdistan cultivar, for threshold 50% plants mortality (LD_{50}) treated by gamma ray, was approximately 65-70 gray. Therefore, gamma ray intensity in the recommended limit could be used for the highest genetic diversity creation with the lowest plant mortality in strawberry breeding programs such as in fruit quality improvement.

Keywords: Strawberry, Physical mutagens, Fruit quality, Mutant generation.

1. Dept. of Agron. and Plant Breed., Faculty of Agric., Yasouj Univ., Yasouj, Iran.
2. Dept. of Agron. and Hort. Crops Res., Fars Agric. and Nat. Resour. Res. and Edu. Center, Shiraz, Iran.
* Corresponding Author, Email: Amiri@yu.ac.ir

www.SID.ir