به نژادی گیاهان زراعی و باغی
دوره ٤ ■ شماره ١ ■ بهار و تابستان ١٣٩٥
صفحه‌های ٢٢٦-٢١٥
انتشار الکترونیکی: بهار ١٣٩٨

تعیین دُز مناسب و بررسی تأثیر پرتوگاما بر صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه *Arnica chamissonis* ssp. Foliosa

مژده اسدی[1]، جواد هادیان[2*]، بهنام ناصریان[3]، قاسم کریم‌زاده[4]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی و اصلاح گیاهان دارویی، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران.
۲. دانشیار، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران.
۳. مربی، پژوهشکده کشاورزی، پزشکی و صنعتی هسته‌ای کرج، کرج، ایران.
۴. دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۲۶

چکیده

آرنیکای چامیسو با نام علمی *Arnica chamissonis* ssp. foliosa گیاهی چندساله، ریزوم‌دار، با مصارف دارویی از خانواده کاسنی و بومی آمریکای شمالی و کانادا است. القای جهش روشی کاربردی برای افزایش تنوع ژنتیکی در جهت دستیابی به اهداف اصلاحی می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر دُزهای مختلف اشعه گاما (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ٤۰۰ و ۵۰۰) بر صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بذر *Arnica chamissonis* (نظیر طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، درصد، سرعت و میانگین جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن تر و خشک ریشه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه) و تعیین دُز مناسب به‌منظور القای جهش بود. تیمار بذر با پرتوگاما پارامترهایی نظیر طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، درصد جوانه‌زنی، سرعت و میانگین جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن‌تر ریشه‌چه، وزن‌تر و خشک ساقه چه ($P\leq ۰/۰۱$)، و همچنین وزن خشک ریشه‌چه ($P\leq ۰/۰۵$) را به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرارداد. دُز ۲۰۰ گری بهترین تأثیر را در بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی این گونه نشان داد. دُز ۳۰۰ گری و بالاتر اثر کاهشی بر تمامی صفات مورد بررسی نسبت به شاهد داشت که این امر می‌تواند مربوط به اختلالات متابولیسمی ناشی از تولید رادیکال‌های آزاد باشد که در اثر پرتودهی ایجاد می‌شوند و از رشد جنین جلوگیری می‌کنند. دُز LD_{50}، ۲۷۵/۲۲۶ گری و دُز مناسب پرتودهی جهت القای جهش ۱۸۱/۰۲ گری تعیین شد.

کلیدواژه‌ها: آرنیکا، پرتودهی، تنوع ژنتیکی، جهش، سازگاری، سرعت جوانه‌زنی.

* نویسنده مسئول
Email: J_hadian@sbu.ac.ir

مقدمه

گیاه *Arnica chamissonis* ssp. foliosa یک گونه دارویی چندساله ریزوم‌دار از خانواده کاسنی[1] و بومی آمریکا است که از شمال در آلاسکا و سرزمین‌های یوکان، از شرق در اونتاریو و از جنوب در نیومکزیکو، آریزونا و کالیفرنیا یافت می‌شود [۳۷]. این گیاه ارزشمند از فلور ایران گزارش نشده و گیاهی کاربردی برای صنعت بوده که تقاضای جهانی برای گل‌های آن در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی در حال افزایش است. این گونه در ساخت بسیاری از محصولات دارویی (۳۰۰ مورد در اروپا و حدود ۲۰ محصول در کانادا) مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۸]. مواد بیولوژیکی فعال در گل‌های انتهایی آرنیکا، سزکوئی ترپن، فلاونوئید و فنولیک اسیدها هستند. آثار دارویی گل‌ها عمدتاً به‌دلیل حضور سزکوئی‌ترپن لاکتون‌ها است [۳۸،۲۷]. این گیاه هرمافرودیت دگرگشن است و گرده‌افشانی در آن توسط حشرات انجام می‌شود. گیاه *A. chamissonis* دارای نیازهای اکولوژیکی خاص بوده و سازگاری و تولید آن در شرایط مختلف به‌راحتی امکان‌پذیر نیست [۴۲، ۳۸، ۲۶]. اخیراً بذر *A. chamissonis* جهت کشت به ایران وارد شده است. با این حال به‌دلیل محدود بودن منابع ژنتیکی در دسترس و لزوم انتخاب گیاهان سازگار با شرایط اقلیمی ایران و دارای عملکرد مناسب، استفاده از روش‌های مناسب مانند جهش جهت ایجاد تنوع ژنتیکی در این گیاه ضروری است، زیرا به‌کارگیری روش‌های اصلاحی مناسب، امری ضروری در جهت دستیابی به ارقامی با خصوصیات مطلوب و درنهایت عملکرد بالا می‌باشد [۱۹].

لازمه اصلاح گیاهان ایجاد تنوع و یکی از راه‌های رسیدن به تنوع، جهش از طریق عوامل جهش‌زای فیزیکی همانند اشعه گاما است. استفاده کارآمد از روش‌های هسته‌ای، جهت افزایش عملکرد و بهبود کیفیت گیاهان دارویی در زمینه‌های مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی کاربرد زیادی دارد [۱]. یکی از روش‌هایی که می‌تواند با صرف هزینه کم سبب افزایش محصول شود، پرتودهی با اشعه گاما است. تابش پرتو گاما با دُز مناسب، سبب جهش ژنتیکی در گیاهان می‌شود که در علم اصلاح ایجاد موتانت (گیاهان جهش یافته) از مؤثرترین روش‌های مدرن اصلاحی است [۱۷]. اشعه گاما یکی از مهمترین موتاژن‌های فیزیکی با پرتوهای الکترومغناطیسی است با طول موج کوتاه‌تر از اشعه ایکس است و لذا دارای انرژی و قدرت نفوذ بالا و توانایی ایجاد انواع جهش‌ها را در مولکول‌های مهم زیستی دارا می‌باشد. پرتوهای گاما قادرند در محیطی که از درون آن می‌گذرند یونش و برانگیختگی را توأم انجام دهند و بیشتر اثرات زیستی این پرتوها معمولاً در نتیجه یونش است که سبب موتاسیون ژنی یا تغییرات کروموزومی می‌شوند. پرتو گاما به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم بر روی سلول‌ها اثر می‌گذارد. در روش مستقیم انرژی پرتو زیاد بوده و موجب شکسته شدن ماکرومولکول‌های زیستی مهم مانند DNA و پروتئین‌ها شده و اثرات بسیار شدیدی بر روی سلول می‌گذارد. در چنین مواردی سه حالت روی دهد. ۱- ممکن است که سلول‌های آسیب‌دیده ترمیم شوند و موجود زنده به حیات خود ادامه دهد، ۲- چنانچه این آسیب‌ها ترمیم نگردد و شدت آنها زیاد باشد منجر به مرگ سلول و موجود زنده می‌شود، ۳- در برخی موارد آسیب‌های ایجادشده ترمیم نمی‌گردد بلکه منجر به موتاسیون می‌شود [٤٤، ۱۰]. القای جهش روشی برای افزایش تنوع ژنتیکی است کـه همراه با انتخاب، نوترکیبی و یا ترکیبی از این دو، در اصلاح گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۰]. موجودات متعددی توانایی زنده ماندن

1. Asteraceae or Compositae

و تکثیر تحت تابش دُزهای اشعه یونیزه‌کننده را دارند که ممکن است ناشی از تابش طبیعی یا حوادث هسته‌ای باشد [۲۹]. لاین‌های حاصل از پرتودهی برای تهیه نقشه‌های ژنوم[1] در برنامه‌های اصلاحی و مهندسی ژنتیک کاربرد گسترده‌ای دارند [۲۲]، زیرا جهش با ایجاد تنـوع، زمینـه را برای ظهور قابلیت‌های بالقوه ژنتیکی که به‌طور طبیعی بروز نمی‌یابند، فراهم می‌سازد. ازآنجایی‌که جهش‌های خودبه‌خودی با فراوانی خیلی کم رخ می‌دهند، فنون القای جهش ابزار مناسبی برای ایجاد و افزایش تنوع در گونه‌های گیاهی به‌حساب می‌آیند [۱۵]. اگر تنوع حاصل از جهش موجب سازگاری شود به حفظ بقای موجود در محیط‌های مختلف کمک می‌کند [٤١]. اگرچه پرتودهی با اشعه گاما در کشاورزی، پزشکی و صنعت کاربردهای گسترده دارد، اما کاربرد آن در زمینه اصلاح گیاهان جدید به‌دلایلی همچون عدم شناخت دُز مناسب برای گیاهان تا کنون محدود بوده است. به‌منظور موفقیت در برنامه اصلاحی به‌کمک جهش ابتدا باید دُز مناسب مشخص شود. برای تعیین بهترین دُز پرتودهی باید به دو نکته توجه کرد، اول اینکه دُز کاربردی نباید به حدی زیاد باشد که گیاهان را از بین ببرد و در ادامه باید به اندازه‌ای انتخاب شود که فراوانی جهش به اندازه کافی باشد. اکثر بذرهای پرتودهی‌شده جوانه می‌زنند، اما در طول فرایند رشد به‌دلیل وقوع جهش‌های کشنده از بین می‌روند. از جمله این گونه جهش‌ها می‌توان به آلبینیسم اشاره کرد که گیاه به‌دلیل فقدان سبزینه از بین می‌رود، لذا برای تعیین دُز مناسب بهتر است از صفات درصد بقا یا مرگ‌ومیر گیاهچه، طول ساقه و طول ریشه استفاده کرد. در این میان به‌دلیل حساسیت بیشتر ریشه نسبت به ساقه در برابر پرتو، اندازه‌گیری طول ساقه یا درصد مرگ‌ومیر به منظور تعیین دُز، مناسب‌تر است [۳]. در تعیین دُز مناسب جهت ایجاد تنوع ژنتیکی، مقایسه محدوده دُزهایی که برای کاهش ٤٠ تا ٦٠ درصدی رشد ساقه و ریشه لازم است نشان می‌دهد که طول ریشه نسبت به اثر عامل جهش‌زا حساس‌تر است و احتمالاً تخریب سیستم ریشه و یا کاهش رشد آن یکی از علل عمده کاهش رشد گیاه و نهایتاً مرگ گیاهچه است [٦]. اشعه گاما جزو پرتوهای یونیزه‌کننده است که منجر به تولید رادیکال‌های آزاد در سلول می‌شود. بسته به سطح تابش، رادیکال‌های آزاد می‌توانند منجر به تغییرات مورفولوژیک، آناتومیک، بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و یا صدمه به اجزای مهم سلول شود. این اثرات شامل تغییر در ساختار سلولی گیاه و سوخت‌وساز آن (به‌عنوان مثال اتساع غشای تیلاکوئیدها، تغییر در راندمان فتوسنتز و عملکرد سیستم آنتی‌اکسیدانی و تجمع ترکیبات فنلی) هستند [٤٣، ٢٥، ٢٣].

پرتوتابی بذور گیاهی از طریق تولید رادیکال‌های آزاد و اکسیداسیون اتم‌ها، موجب اختلال در سنتز پروتئین و تبادل گازها و برهم خوردن تعادل هورمونی می‌گردد و از طرفی فعالیت آنزیم‌ها را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که این پرتوها موجب مهار مسیرهای متابولیک، تغییر در رشد و نمو و آسیب به DNA می‌گردند. گونه‌های فعال اکسیژن در مقادیر بسیار کم، در درون سلول گیاهی منجر به بیان ژن‌های اساسی می‌گردند، اما در اثر القای پرتوهای یونیزه‌کننده مقدار گونه‌های فعال اکسیژن افزایش یافته و تعادل و هموستازی درون سلولی به هم می‌خورد. این آشفتگی منجر به کاهش انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون می‌گردد که ناشی از کاهش عامل احیاکننده در چرخه کالوین می‌باشد. این وضعیت نیز متعاقباً منجر به اکسیداسیون نوری از طریق افزایش جریان الکترون به سوی اکسیژن و تولید پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل می‌گردد. این

1. Genome Mapping

گونه‌های واکنش‌پذیر فعال، مسئول ایجاد آسیب به اندامک‌های فتوسنتزی هستند [٤٣].

اثر تیمارهای جهش‌زا عموماً به‌وسیله پارامترهایی مانند درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه و بنیه بذر اندازه‌گیری می‌شود. درصد جوانه‌زنی معیار مناسبی برای تعیین اثر دُز نیست، زیرا اغلب بذرها پس از پرتودهی جوانه می‌زنند اما پس از مدتی از بین می‌روند [٣]. دُز مناسب پرتودهی می‌تواند تغییرات مورفولوژیک، ساختاری و کاربردی در گیاهان ایجاد کند [٣٦]، به‌طوری‌که تأثیر مثبت دُزهای پایین پرتوهای یونیزه‌کننده بر جوانه‌زنی، تقسیم سلولی و رشد گزارش شده است [١٣]. ازآنجایی‌که استقرار موفق، توانایی رقابت و تجدید نسل گیاهان وابستگی زیادی به توانایی جوانه‌زنی و رشد بذر دارد [٤]، می‌توان از تیمارهای مختلف بذری نظیر پرتودهی با اشعه گاما، به‌عنوان روشی مؤثر جهت افزایش جوانه‌زنی و رشد جنین بذر استفاده کرد [٣٤]. پرتو دهی بذور گیاه *Eruca vesicaria* با دُزهای ٢٠، ٥٠، ١٠٠ و ٢٠٠ گری اشعه گاما مشخص کرد که دُز ٢٠ گری اثر تحریک‌کننده مثبت بر جوانه‌زنی بذرها داشت اما به تدریج با افزایش میزان دُز، تأثیر منفی بر جوانه‌زنی مشاهده شد [٣٠]. همچنین استفاده از تابش دُزهای پایین پرتوگاما تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف داشته و باعث افزایش طول ریشه و بهبود صفات رشدی برنج شده است [٢٨]. در این تحقیق تأثیر سطوح مختلف تابش گاما بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر آرنیکا مورد بررسی قرار گرفت، تا تیمار مناسب جهت بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی، همچنین تیمار مناسب جهت القا جهش در این گیاه تعیین شود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال ١٣٩٥ در پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی انجام شد. در این تحقیق بذرهای *A. chamissonis* با قوه نامیه ٨٧ درصد از شرکت ژلیتو[1] آلمان تهیه شدند. به‌منظور داشتن نتایج قابل تکرار و حذف اثر رادیکال‌های آزاد پس از پرتودهی، تنظیم رطوبت بذر قبل از پرتودهی ضروری است. جهت تعیین رطوبت توده‌های بذر ابتدا سه نمونه سه گرمی جدا شده و به‌مدت ١٧ ساعت در آون با دمای ١٠٥ درجه قرارگرفت. پس از ١٧ ساعت نمونه‌های بذر خشک‌شده دوباره توزین شدند و درصد رطوبت آن‌ها با استفاده از رابطه زیر تعیین شد. در نهایت درصد رطوبت توده بذر با محاسبه میانگین رطوبت سه نمونه مورد آزمایش مشخص شد [٢١].

= درصد رطوبت

١٠٠× (وزن اولیه/ وزن ثانویه – وزن اولیه)

با روش ذکرشده رطوبت بذر *A. chamissonis*، ١٣ درصد تعیین شد که زطوبت مناسب جهت تیمار با پرتو گاما می‌باشد. سپس نمونه‌های بذر به پژوهشکده کشاورزی، پزشکی و صنعتی هسته‌ای کرج منتقل شد. بذرها با دُزهای صفر (شاهد)، ١٠٠، ٢٠٠، ٣٠٠، ٤٠٠ و ٥٠٠ گری در ثانیه (سرعت پرتوتابی ٠/٠١٨ گری در ثانیه) با کبالت ٦٠ پرتودهی شدند. بذور تیمارشده به آزمایشگاه اکوفیزیولوژی پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی شهید بهشتی منتقل شد. به‌منظور ضدعفونی، بذرها در محلول دو درصد سدیم هیپوکلریت به‌مدت پنج دقیقه غوطه‌ور و سپس با آب مقطر استریل به‌منظور حذف باقی‌مانده سدیم هیپوکلریت شستشو داده شدند و در سه تکرار ١٠٠ تایی برای هر تیمار دُز اشعه داخل پتری‌دیش‌هایی به قطر ١٠ سانتی‌متر و روی کاغذ صافی مرطوب‌شده با آب مقطر کشت شدند. پتری‌دیش‌ها با

1. Jelitto

آرایش تصادفی به داخل ژرمیناتور منتقل و در شرایط رطوبتی ۸۰ درصد با دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. هر پتری‌دیش به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. جهت کنترل رطوبت داخل پتری‌دیش‌ها و ثبت جوانه‌زنی، نمونه‌ها به‌طور روزانه مورد بررسی قرار گفته و شمارش بذور جوانه زده به‌مدت ۱۰ روز انجام شد. بذرهای با طول ریشه‌چه دو میلی‌متر به‌عنوان بذر جوانه‌زده شمارش شد. شمارش بذور تا زمانی‌که هیچ‌گونه جوانه‌زنی بذر در سه روز متوالی شمارش، مشاهده نشد، ادامه پیدا کرد [۵]، سپس صفات زیر اندازه‌گیری شد:

درصد جوانه‌زنی:

۱۰۰× (تعداد کل بذور کشت‌شده/ تعداد بذور جوانه‌زده)

سرعت جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی به‌ترتیب با استفاده از معادله‌های (۱) و (۲) محاسبه شد.

$$S\ (seed \times day^{-1}) = \quad (1)$$

$$(N_1 \times 1) + (N_2 - N_1) \times 1/2 + (N_3 - N_2) \times 1/3 + \ldots + (N_n - N_{n-1}) \times 1/n$$

S تعداد بذرهای جوانه‌زده برحسب بذر در روز و N_1، N_2 و N_3 تعداد بذرهای جوانه‌زده بعد از یک، دو و سه روز تا روز nام [۱۶].

$$MGT = \quad (2)$$

$$A_1D_1 + A_2D_2 + \ldots + A_nD_n / A_1 + A_2 + \ldots + A_n$$

MGT میانگین زمان جوانه‌زنی، A تعداد بذرهای جوانه‌زده در زمان D و n کل تعداد روزها تا آخرین روز شمارش [۱۱].

شاخص بنیه بذر:

$$VI = (RL + SL) \times GP$$

RL طول ریشه‌چه، SL طول ساقه‌چه، GP درصد جوانه‌زنی و VI شاخص بنیه بذر می‌باشد [۷]. طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز با انتخاب تصادفی تعداد ۱۰ عدد بذر از هر پتری‌دیش به‌وسیله کولیس اندازه‌گیری و محاسبه میانگین آن برای تیمارها و تکرارهای مختلف تعیین شد. سپس ریشه‌چه و ساقه‌چه بذور جداشده و وزن‌تر و خشک با ترازوی حساس تعیین شد.

برای به‌دست آوردن دُز مناسب برای ایجاد تنوع ژنتیکی، آزمایشی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و پرتوتابی دُزهای مختلف اشعه گاما در پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای (رجایی شهر کرج) انجام شد. رطوبت مناسب برای پرتودهی بذر ۱۳ درصد تعیین شد. پس از تیمار با دُزهای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ٤۰۰ و ۵۰۰ گری بذرها بلافاصله درون گلدان‌های پلاستیکی کشت شدند. در هر گلدان ۲۰ بذر برای هر تیمار در نظر گرفته شد. یک ماه بعد از جوانه‌زنی، گیاهان از خاک خارج شده و طول ساقه، طول ریشه و درصد بقای گیاهچه‌ها اندازه‌گیری شد. درصد بقا با شمارش تعداد گیاهچه‌های زنده مانده ۳۰ روز پس از کشت تعیین شد. تجزیه‌وتحلیل آماری و مفروضات اولیه تجزیه واریانس از قبیل نرمال بودن داده‌های آزمایشی و غیره در مورد داده با استفاده از نرم‌افزار Mini tab17 و SAS9.1 انجام شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر تیمار پرتوی گاما بر صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر سطوح مختلف پرتو بر صفات مورد مطالعه بذر *A. chamissonis* است. تیمار بذر با پرتوگاما به‌طور معنی‌دار صفات طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، درصد جوانه‌زنی، سرعت و میانگین جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن‌تر ریشه‌چه، وزن‌تر و خشک ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد ($P\leq$۰/۰۱) و همچنین وزن خشک ریشه‌چه در سطح احتمال پنج درصد

($P\leq$۰/۰۵) را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). بیشترین طول ساقه‌چه در تیمار ۲۰۰ گری (۸/۸٤ میلی‌متر) مشاهده شد که با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین طول ریشه‌چه در تیمار ۲۰۰ گری (۳۸/٦ میلی‌متر) و کمترین مقدار آن در تیمارهای ٤۰۰ و ۵۰۰ گری به‌ترتیب برابر ٤/٤٦ و ۳/۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت اثر دُزهای ۳۰۰ گری به بالا در مقایسه با شاهد، کاهش معنی‌داری نشان دادند. بالاترین درصد جوانه‌زنی در تیمار ۲۰۰ گری (۹۱ درصد) اندازه‌گیری شد. تیمار ۱۰۰ و ۲۰۰ گری تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان ندادند اما با افزایش دُز اشعه به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. پایین‌ترین درصد جوانه‌زنی در تیمار ۵۰۰ گری برابر ۵۰/۳۳ درصد مشاهده شد. سرعت جوانه‌زنی در دُز ۲۰۰ گری (۷/۵ بذر در روز) به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود اما در تیمارهای ٤۰۰ و ۵۰۰ گری کاهش ۱/۳۳ و ۱/٦٦ برابری نسبت به شاهد مشاهده شد. کمترین مقدار این صفت در تیمار ۵۰۰ گری (۳/۹۳ بذر در روز) مشاهده شد. سرعت جوانه‌زنی یکی از شاخص‌های مهم در تعیین کیفیت بذر است، هرچه ارقام بذری بتوانند در مدت‌زمان کمتری، درصد جوانه‌زنی بیشتری داشته باشند از سرعت جوانه‌زنی بالاتری برخوردار هستند. سرعت جوانه‌زنی در بذرهایی با قدرت بالاتر بیشتر از بذرهایی با قدرت پایین است [۲].

تیمار ۲۰۰ گری به‌طور معنی‌داری میانگین زمان جوانه‌زنی را کاهش داد (٤/۷٦ روز) و ضعیف‌ترین نتایج مربوط به دُز۵۰۰ گری برابر ۸/۳ روز مشاهده شد. وزن‌تر و خشک ساقه‌چه در دُز ۲۰۰ گری (به‌ترتیب ٤/۹۳-۰/٦۳ میلی‌گرم) بیشتر از سایر تیمارها به‌دست آمد که وزن خشک ساقه‌چه با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. مقادیر وزن تر و خشک ساقه‌چه با افزایش دُز اشعه گاما کاهش یافت. تیمار ۲۰۰ گری وزن‌تر و خشک ریشه‌چه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد اما با تیمار ۱۰۰ گری تفاوت معنی‌داری نشان نداد و همانند سایر صفات در دُزهای بالاتر کاهش محسوسی داشت. بالاترین مقدار شاخص بنیه بذر در تیمار ۲۰۰ گری برابر ٤۳/۱٦ مشاهده شد و تیمار ۵۰۰ گری باعث کاهش ۱۱/۳۸ برابری این صفت نسبت به شاهد شد. دُز ۳۰۰ گری و بالاتر بر تمام صفات مورد بررسی اثر کاهشی نسبت به شاهد داشتند. در مطالعه پیش رو، تابش ۲۰۰ گری اشعه سبب بهبود و افزایش معنی‌دار صفاتی نظیر سرعت و میانگین زمان جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ریشه‌چه، وزن‌تر ساقه‌چه، وزن‌تر و خشک ریشه‌چه نسبت به شاهد شد.

افزایش رشد و بهبود صفات جوانه‌زنی ناشی از پرتودهی با دُزهای نسبتاً پایین موجب شکسته شدن برخی از مولکول‌های بزرگ درون بذر به مولکول‌های کوچک‌تر و استفاده جنین از آنها، افزایش تکثیر سلولی و در نتیجه افزایش رشد و همچنین افزایش فعالیت‌های متابولیسمی به دنبال افزایش مقدار و فعالیت برخی آنزیم‌ها و افزایش احتمالی نسبت ATP به ADT می‌گردد [۱۷]. دُزهای پایین پرتو گاما موجب تغییر شبکه پیام‌رسانی هورمونی مانند افزایش در مقدار هورمون‌های کینتین، جیبرلین [۳۰] و اتیلن در سلول‌های گیاه می‌گردد [۲۳، ۳۱]. تحریک تقسیم سلولی و رشد با دُزهای پایین پرتوگاما توسط محققان دیگر نیز گزارش‌شده است [٤۵، ۹]. مطالعه اثرات اشعه گاما بر خصوصیات کمی و کیفی برنج مشخص کرد که دُزهای پایین اشعه باعث بهبود صفات رویشی می‌شود، اما با افزایش میزان دُز، روند کاهشی در صفات مورد مطالعه مشاهده شد [۳۵]. نتایج این پژوهش نشان داد که دُز ۳۰۰ گری و بالاتر روی تمام صفات مورد ارزیابی از جمله درصد جوانه‌زنی تأثیر کاهشی داشته است. کاهش چشم‌گیر سرعت و سایر صفات جوانه‌زنی در دُزهای بالای اشعه می‌تواند مربوط به اختلالات متابولیسمی ناشی از رادیکال‌های آزاد به‌وجودآمده در اثر پرتودهی اشعه گاما باشد که از رشد جنین جلوگیری

می‌کند [٤٣]. بررسی صفات کمی یک واریته از سویا، تحت تیمار اشعه گاما نشان داد که درصد جوانه‌زنی در همه تیمارها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت [٣٢]، درحالی‌که مستقل بودن جوانه‌زنی بذور تحت تیمار اشعه گاما از دُزهای مختلف اشعه در برخی مطالعات گزارش شده است [١٢]. بررسی تیمارهای ١٠٠، ٢٠٠، ٣٠٠ و ٤٠٠ گری پرتو گاما بر سه واریته مختلف گندم نشان داد که دُزهای بالای پرتو تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در کاهش زنده‌مانی دارند و جوانه‌زنی بذور پرتو داده شده با تأخیر آغاز می‌شود [٢٠]. در این مطالعه، طول ریشه‌چه در تیمار ٥٠٠ گری کاهش محسوسی (٥/٣٦ برابر) نسبت به شاهد نشان داد، زیرا پرتودهی موجب کاهش طول ریشه‌چه می‌شود به‌طوری‌که طول آن از چند میلی‌متر تجاوز نمی‌کند [١٤].

بررسی تأثیر دُزهای ٢٠٠، ٣٠٠ و ٤٠٠ گری پرتوی گاما بر جوانه‌زنی و طول ریشه و ساقه در سه رقم نخود کابلی و ٤ رقم نخود زراعی از گونه *Cicer arietinum* و دو گونه نخود وحشی یک ساله نشان داد که دُز ٢٠٠ گری تأثیر قابل‌توجهی بر پارامترهای موردبررسی نداشته و اثرات منفی در رشد ریشه و ساقه نیز در دُزهای بالاتر از ٢٠٠ گری مشاهده شد. همچنین تیمار ٤٠٠ گری از توسعه ریشه و ساقه جلوگیری کرد [٣٩]. در پی اختلالات متابولیکی ایجادشده پس از پرتودهی گاما، بذرها قادر نخواهند بود جوانه بزنند و در صورت جوانه‌زنی بیش از چند روز زنده نمی‌مانند. چون رسیدن گیاه به مرحله بلوغ به نوع و میزان آسیب کروموزومی بستگی دارد. فراوانی آسیب کروموزومی حاصل از پرتودهی ممکن است موجب کاهش جوانه‌زنی و همچنین نقص در زنده‌مانی و نمو گیاه شود [٢٤]. ساختار کلروپلاست تحت تابش دُز بالای اشعه گاما تغییر می‌کند و غشای سلولی اندامک‌ها متورم و از هم گسیخته می‌شود. علاوه بر این، بخش‌هایی از میتوکندری و شبکه آندوپلاسمی تغییر ساختار می‌دهند، اما دُزهای نسبتاً کم اشعه گاما تغییرات مورفولوژیک خفیفی در سلول‌ها و بافت گیاهی ایجاد می‌کنند. سلول‌های پارانشیمی گیاهان از نظر تولید ترکیبات سمی مانند H_2O_2[1] و POD[2] حساسیت بیشتری نسبت به اشعه گاما دارند. پس از تابش دُزهای بالا اشعه گاما (١kGy)، تجمع H_2O_2 در غشای پلاسمایی و به‌خصوص تیغه میانی برگ انجام می‌گیرد، درحالی‌که POD به‌طور عمده در گوشه‌های تیغه میانی دم برگ تجمع می‌یابد [٤٣، ٢٥، ٢٣]. نتایج بررسی‌های دیگر نشان می‌دهد که بازدارندگی رشد القاشده توسط پرتودهی در دُز بالا به اختلال تقسیم سلولی در مرحله G_2/M یا آسیب به ژنوم اتفاق می‌افتد [٣٣]. بر اساس مطالعات صورت گرفته، این احتمال نیز وجود دارد که اشعه گاما باعث اختلال در تعادل هورمونی، مقدار گاز، آب و فعالیت آنزیم‌های برگ گردد [٢٤، ٣٥]. در نتیجه این اثرات سبب تغییر در ساختار سلولی گیاه، سوخت‌وساز، راندمان فتوسنتز و تجمع ترکیبات فنلی می‌شود که کلروپلاست‌ها در این بین بسیار حساس‌تر از دیگر اندامک‌های سلولی هستند [٤٣].

تعیین دُز مناسب جهت ایجاد تنوع ژنتیکی

در این مطالعه درصد جوانه‌زنی در سطوح پایین دُز اشعه گاما تقریباً یکسان بود و اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. سطوح مختلف دُزهای پرتوی گاما بر صفات طول ساقه، طول ریشه و درصد بقا، اثر معنی‌دار داشت و با افزایش دُز اشعه، شاخص‌های رشد شامل طول ساقه، ریشه و درصد بقای گیاهان کاهش یافت (جدول ٣). این کاهش به نوع صفت بستگی داشت و در مورد طول ریشه شدیدتر از طول ساقه بود. رابطه بین میزان زنده‌مانی و دُزهای مختلف پرتو از نوع درجه یک بود ($y= -0.1601x+93.333$). در واقع با افزایش دُز، کاهش

1. Hydrogen peroxide
2. Peroxidase

زنده‌مانی اتفاق می‌افتد و علت اصلی مرگ، یا کاهش رشد در گیاهچه‌ها بروز ناهنجاری‌های مختلف در فعالیت‌های متابولیسمی و رشد گیاه است که در اثر انواع تغییرات در سطح کروموزومی و ژن‌ها ایجاد می‌شود [۳۳].

دُز عامل جهش که موجب ۵۰ درصد مرگ‌ومیر (LD_{50}) در نمونه تحت تیمار (بذر، دانهال، جنین و دانه گرده)، نسبت به شاهد می‌گردند؛ به‌طور معمول برای ایجاد جمعیتی جهش یافته و پیشبرد اهداف اصلاحی پیشرو مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۵]. برای تعیین دُز LD_{50} از تجزیه پروبیت استفاده شد و معادله خطی برای درصد مرگ و تعیین گردید. معادله خط به‌همراه ضریب تبیین، در نمودار شکل ۲ آورده شده است. از طریق تجزیه پروبیت معادله خطی $y = 2.9063x - 2.0051$ به‌دست آمد که با توجه به شکل ۲ و معادله خطی، LD_{50} برابر دُز LD_{50}، ۲۷۵/۲۲۶ گری محاسبه شد. اما استفاده از این دز باعث می‌شود که جمعیت گیاهی در نسل اول به‌شدت کاهش یابد، در نتیجه دُز مناسب پرتودهی ۲۰ درصد کمتر از LD_{50} و برابر ۱۸۱/۰۲ گری تعیین شد. در مطالعه پیش رو مشخص شد که دُز ۲۰۰ گری تأثیرات مطلوبی بر بهبود صفات مورفولوژیک نظیر طول ساقه و ریشه داشت. بهبود صفات مورفولوژیک و افزایش ارتفاع و طول میانگره گیاهان تحت تأثیر پرتوی گاما گزارش شده [۱۸، ۸] که برهم خوردن تعادل هورمونی درون سلولی علت اصلی بهبود صفات رویشی بیان می‌شود [۴۳].

شکل ۱. تأثیر پرتوتابی دُزهای مختلف اشعه گاما بر کاهش طول ساقه و ریشه در گیاه آرنیکای چامیسو

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه *A. chamissonis* تحت تیمار دُزهای اشعه گاما

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین زمان جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر	وزن‌تر ساقه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه
تیمار	۵	٦٣٤/٦**	۸/۱۷**	۱۰۰۸/۳٦**	۵/۱۳**	۹/۲٦**	۸۰۰/۷٤**	۱/۷۹**	۰/۰۱٤*	۰/۱۲۱**	۷/۲۲**
خطا	۱۲	٤/٦۷	۰/٦۷	۱۷/۲۲	۰/۰٤	۰/۰۸	٤/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۰٤	۰/۰۰۱	۰/۰٦
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/٤۱	۱۱/۹۹	۵/۵۹	۳/۵	٤/۵	۹/٤۹	۸/۷۱	۱۱/٤۲	۸/۱٦	۱۰/۰٦

** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن داده در سطح احتمال یک درصد است.

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه آرنیکا تحت تیمار دُزهای اشعه *A. chamissonis*

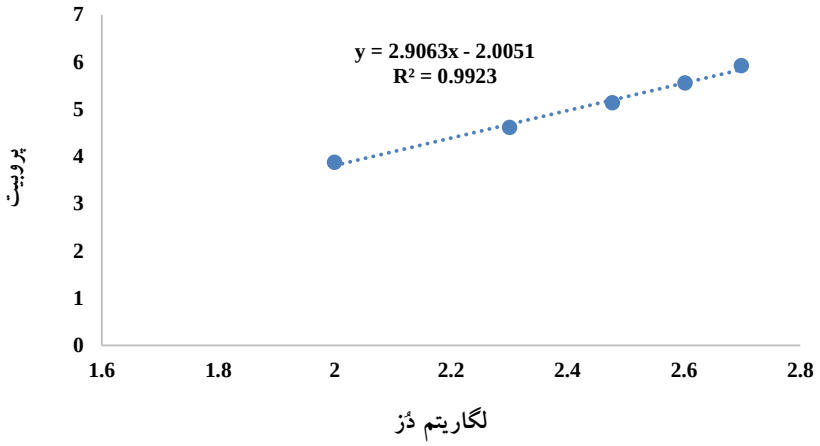
دُز تیمار پرتو گاما (گری)	طول ریشه‌چه میلی‌متر	طول ساقه‌چه میلی‌متر	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی (بذر/روز)	میانگین زمان جوانه‌زنی روز	شاخص بنیه بذر	وزن‌تر ساقه چه میلی‌گرم	وزن خشک ساقه چه میلی‌گرم	وزن‌تر ریشه‌چه میلی‌گرم	وزن خشک ریشه‌چه میلی‌گرم
	میانگین مربعات									
شاهد	۱۷/۱۶^{b}	۷/۹۸^{ab}	۹۰^{a}	٦/٥٣^{b}	۷/٥^{b}	۳۱/٦۲^{b}	٤/۲^{b}	۰/٥۷^{abc}	۰/٥۳^{b}	۳/۳^{b}
۱۰۰	۲۸/٥٦^{b}	۷/٥۲^{ab}	۸۹/۳۳^{a}	٦/٤٦^{b}	۷/۹۳^{ab}	۳۲/۲^{b}	٤/٦۳^{ab}	۰/٦٦^{a}	۰/٦٥^{a}	٤/۰۳^{a}
۲۰۰	۳۸/٦^{a}	۸/۸٤^{a}	۹۱^{a}	۷/٥^{a}	٤/۷٦^{d}	٤۳/۱٦^{a}	٤/۹۳^{a}	۰/٦۳^{ab}	۰/٦٦^{a}	٤/۳۳^{a}
۳۰۰	۱۱/٥۹^{c}	٦/۸۸^{bc}	٦۷/٦٦^{b}	٥/۱٦^{c}	٤/۱^{e}	۱۲/٤٥^{c}	٤/۱^{b}	۰/٥۷^{abc}	۰/٤٥^{c}	۱/۸۳^{c}
٤۰۰	٤/٤٦^{d}	٥/٤۹^{cd}	٥٦/٦٦^{c}	٤/۹^{c}	٥/۸۳^{c}	٥/٦^{d}	۳/۲٦^{c}	۰/٥٤^{bc}	۰/۳۲^{d}	۱^{d}
٥۰۰	۳/۲^{d}	٤/۳۸^{d}	٥۰/۳۳^{c}	۳/۹۳^{d}	۸/۳^{a}	۳/۷۹^{d}	۲/۹۳^{c}	۰/٤٦^{c}	۰/۱٤^{e}	۰/۷٦^{d}

حروف متفاوت در ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات درصد بقا، طول ساقه و ریشه گیاهچه‌های آرنیکا تحت تابش دُزهای اشعه *A. chamissonis*

دُز اشعه (گری)	میانگین مربعات		
	درصد بقا	طول ساقه (میلی‌متر)	طول ریشه (میلی‌متر)
شاهد	۹۳/۳۳^{a}	۲٤/۳٦^{b}	۸۲/۰۳^{a}
۱۰۰	۸۱^{b}	۲٥/۹^{b}	۹٤/٥^{b}
۲۰۰	٥۹/۳۳^{c}	۳٥/۰٦^{a}	۱۱٤/۱٦^{a}
۳۰۰	٤۱/٦٦^{d}	۱۷/۸^{c}	٥۸/۱٦^{d}
٤۰۰	۲٦/٦٦^{e}	۱۳/٥٦^{d}	۳۲/۸۳^{e}
٥۰۰	۱۷^{f}	۸/۲^{e}	۱۷/٤^{f}

حروف متفاوت در ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار است.



شکل ۲. برازش مدل خطی تبدیل پروبیت درصد مرگ‌ومیر با لگاریتم دُز اشعه گاما

منابع

۱. پیرزاد ع، علیزاده م، حسن‌زاده قورت‌تپه ع، و درویش‌زاد ر (۱۳۹۳). تأثیر پرتو گاما پیش از جوانه‌زنی و سطوح مختلف نیتروژن بررشد و عملکرد بابونهٔ آلمانی، نشریه به‌نژادی کشاورزی، ۱۷(۲): ٤۱۱-۲۹۷.

۲. حسینی ف (۱۳۸۷). بررسی اثر فرسودگی بذر بر جوانه‌زنی، استقرار و عملکرد پنج رقم کلزا در شرایط آب‌وهوایی اهواز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی اهواز. ۲۵۸ صفحه.

۳. قنادها م (۱۳٦۷). یک مطالعه روی حساسیت گونه‌ها و ارقام مختلف غلات و بقولات نسبت به مقادیر مختلف اشعه گاما، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی.

٤. عبدالرحمنی ب، قاسمی گلعذانی ک، ولی زاده م، فیضی اصل و، و توکل ا (۱۳۸۸). اثر پرایمینگ بذر بر قدرت رویش و عملکرد دانه جو رقم آبی در شرایط دیم. مجله علوم زراعی ایران، ص۳۷۷-۳۵۲.

۵. عیسوند ح، و مداح عارفی ح (۱۳۸٦). بررسی اثر برخی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر کیفیت فیزیولوژیک بذرهای پیر شده گیاه *Bromus inermis*. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران، ۱۵(۲):۱۵۹-۱۷۱.

٦. مجد ف، و اردکانی م (۱۳۸٤). تکنیک‌های هسته‌ای و علوم کشاورزی، انتشارات دانشگاه تهران. ۳۸۱ صفحه.

7. Abdul-Baki, A. A. and Anderson, J. D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop science*, *13*(6), 630-633.
8. Alizadeh, O., Zare, M. and Ganji, A. (2012). Effects of different radiation gamma ray doses on sesame seed variation process, quantitative and qualitative characters in Firouz-abad, Fars.
9. Antonov, M., Velichov, P., Tsonov, T. S. and Angelov, M. (1989). Effect of gamma and laser irradiation on maize seeds and plants. In ESNA XXth annual meeting, Wageningen, The Netherlands (Vol. 44).
10. Brock, R. D. (1977). Prospects and perspectives in mutation breeding. In Genetic diversity in plants (pp. 117-132). Springer US.
11. Cantliffe, D. J. (1991). Benzyladenine in the priming solution reduces thermodormancy of lettuce seeds. *HortTechnology*, *1*(1), 95-97.
12. Cemalttin, Y., A. D. Turkan, K. M. Khawar, M. Atac and S. Ozcan.(2004). Use of gamma rays to induce mutations in four pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. Turk. J. Biol. 30: 29-37.
13. Charbaji, T. and Nabulsi, I. (1999). Effect of low doses of gamma irradiation on in vitro growth of grapevine. *Plant cell, tissue and organ culture*, *57*(2), 129-132.
14. Chaudhuri, S. K. (2002). A simple and reliable method to detect gamma irradiated lentil (Lens culinaris Medik.) seeds by germination efficiency and seedling growth test. *Radiation Physics and Chemistry*, *64*(2), 131-136.
15. Chauhan, Y. S. and Kumar, K. (1986). Gamma ray-induced chocolate seeded mutant in *Brassica campestris* var yellow sarson. Current Science (Bangalore), 55(8), 410.
16. Chiapusio, G., Sanchez, A. M., Reigosa, M. J., Gonzalez, L. and Pellissier, F. (1997). Do germination indices adequately reflect allelochemical effects on the germination process. *Journal of Chemical Ecology*, *23*(11), 2445-2453.
17. Chung, B. Y., Lee, Y. B., Baek, M. H., Kim, J. H., Wi, S. G. and Kim, J. S. (2006). Effects of low-dose gamma-irradiation on production of shikonin derivatives in callus cultures of *Lithospermum erythrorhizon* S. *Radiation Physics and Chemistry*, *75*(9), 1018-1023.
18. Gustafsson, Å., Lundqvist, U. and Ekberg, I. (1966). The viability reaction of gene mutations and chromosome translocations in comparison. *Mutations in plant breeding. Vienna: IAEA-FAO*, 103-107.
19. Harten, A. M. (1998). Mutation breeding: theory and practical applications. Cambridge University Press.
20. Irfaq, M. and Nawab, K. (2001). Effect of gamma irradiation on some morphological characteristics of three wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *J. Biol. Sci*, *1*(10), 935-945.
21. ISTA. (1985). International Seed Testing Association. ISTA Handbook on Seedling Evaluation, 130 p.
22. Kianian, P. M., Liberatore, K. L., Miller, M. E., Hegstad, J. B. and Kianian, S. F. (2016). Dissecting Plant Chromosomes by the Use of Ionizing Radiation. *Plant Cytogenetics: Methods and Protocols*, 91-101.

23. Kim, J. H., Baek, M. H., Chung, B. Y., Wi, S. G. and Kim, J. S. (2004). Alterations in the photosynthetic pigments and antioxidant machineries of red pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings from gamma-irradiated seeds.Journal of Plant Biology, 47(4), 314-321.
24. Kiong, A. L. P., Lai, A. G., Hussein, S. and Harun, A. R. (2008). Physiological responses of *Orthosiphon stamineus* plantlets to gamma irradiation. *American-Eurasian journal of sustainable agriculture*, *2*(2), 135-149.
25. Kovacs, E. and Keresztes, A. (2002). Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. Micron, 33(2), 199-210.
26. Lisowska, K. and Wysokinska, H. (2000). In vitro propagation of *Catalpa ovata* G. Don. *Plant cell, tissue and organ culture*, *60*(3), 171-176.
27. Lyss, G., Schmidt, T. J., Merfort, I. and Pahl, H. L. (1997). Helenalin, an anti-inflammatory sesquiterpene lactone from *Arnica*, selectively inhibits transcription factor NF-κB. *Biological chemistry*, *378*(9), 951-962.
28. Maity, J. P., Mishra, D., Chakraborty, A., Saha, A., Santra, S. C. and Chanda, S. (2005). Modulation of some quantitative and qualitative characteristics in rice (*Oryza sativa* L.) and mung (Phaseolus mungo L.) by ionizing radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, *74*(5), 391-394.
29. Møller, A. P. and Mousseau, T. A. (2016). Are Organisms Adapting to Ionizing Radiation at Chernobyl. *Trends in ecology & evolution*, *31*(4), 281-289.
30. Moussa, H. R. (2006). Gamma irradiation regulation of nitrate level in rocket (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa*) plants. *Journal of New Seeds*, *8*(1), 91-100.
31. Nagata, T., Todoriki, S., Hayashi, T., Shibata, Y., Mori, M., Kanegae, H. and Kikuchi, S. (1999). γ-Radiation induces leaf trichome formation in Arabidopsis. *Plant physiology*, *120*(1), 113-120.
32. Patil, A., Taware, S. P., Oak, M. D., Tamhankar, S. A. and Rao, V. S. (2007). Improvement of oil quality in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] by mutation breeding. Journal of the American Oil Chemists' Society, 84(12), 1117-1124.
33. Preuss, S. B. and Britt, A. B. (2003). A DNA-damage-induced cell cycle checkpoint in Arabidopsis. *Genetics*, *164*(1), 323-334.
34. Saberi, H., Firouzi, M., Habibi, Z., Moshayedi, P., Aghayan, H. R., Arjmand, B. & Yekaninejad, M. S. (2011). Safety of intramedullary Schwann cell transplantation for postrehabilitation spinal cord injuries: 2-year follow-up of 33 cases: clinical article. *Journal of Neurosurgery: Spine*, *15*(5), 515-525.
35. Saha, A., Santra, S. C. and Chanda, S. (2005). Modulation of some quantitative characteristics in rice (*Orayza sativa*) by ionizing radiation. Radiat. Physic. Chem, 74, 391-394.
36. Singh, B. and Datta, P. S. (2010). Effect of low dose gamma irradiation on plant and grain nutrition of wheat. *Radiation Physics and Chemistry*, *79*(8), 819-825.
37. Small, E. and Catling, P. M. (2000). *Les cultures médicinales canadiennes*. Les Presses scientifiques du CNRC.
38. Surmacz-Magdziak, A. and Sugier, D. (2012). In vitro propagation of *Arnica montana* L.: an endangered herbal species of great importance to medicine. *Acta Scientiarum Polonorum*
39. Toker, C., Uzun, B., Canci, H. and Ceylan, F. O. (2005). Effects of gamma irradiation on the shoot length of *Cicer* seeds. *Radiation Physics and Chemistry*, *73*(6), 365-367.
40. Wagner, S., Suter, A. and Merfort, I. (2004). Skin penetration studies of *Arnica* preparations and of their sesquiterpene lactones. *Planta medica*, *70*(10), 897-903.
41. Wani, A. A. and Anis, M. (2008). Gamma ray- and EMS-induced bold-seeded high-yielding mutants in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Turkish Journal of Biology, 32(3), 161-166.
42. Weremczuk-Jeżyna, I., Kisiel, W. and Wysokińska, H. (2006). Thymol derivatives from hairy roots of *Arnica montana*. *Plant cell reports*, *25*(9), 993-996.
43. Wi, S. G., Chung, B. Y., Kim, J. S., Kim, J. H., Baek, M. H., Lee, J. W. and Kim, Y. S. (2007). Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. *Micron*, *38*(6).
44. Wiley J, Sons A. Turner, atoms, radiation, and radiation protection. International Journal of Radiation. 1995; 9, 46-87.
45. Zaka, R., Chenal, C. and Misset, M. T. (2004). Effects of low doses of short-term gamma irradiation on growth and development through two generations of *Pisum sativum*. *Science of the total environment*, *320*(2), 121-129.

Breeding of Agronomic and Horticultural Crop
(Journal of Agriculture, University of Tehran)

Vol. 4 ■ No. 1 ■ Spring & Summer 2016

The effect of gamma ray treatment on seed germination and seedling growth traits *Arnica chamissonis* Less. ssp. *foliosa* and suitable gamma ray dose determination in order to induce genetic variation

Mojdeh Asadi[1], Javad Hadian[2*], Behnam Naserian[3] , Ghasem Karimzadeh[4]

1. M. Sc. Student of Physiology and Breeding of Medicinal Plants, Medicinal Plants and Drug Research Institute, Shahid Beheshti University of Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Medicinal Plants and Drug Research Institute, Shahid Beheshti University of Tehran, Iran.
3. Instructor, Agricultural Research Institute, Medical and Nuclear Industries Karaj, Iran.
4. Associate Professor, Tarbiat Modarres University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Iran.

Received: January 16, 2016 Accepted: March 17, 2019

Abstract

Arnica chamissonis Less. ssp. *foliosa* is a herbaceous perennial belonging to the Asteraceae family and endemic to north America and Canada. Inducing genetic mutation is a practical approach to increase genetic diversity for breeding purposes. Effect of different gamma radiation doses (0, 100, 200, 300, 400 and 500 gray) on seed germination and seedling growth of *A chamissonis* (e. g. plumule and rootlet length, germination percentage, speed and mean, seedling vigor, plumule fresh and dry weight, rootlet fresh and dry weight was measured and the proper dose for mutation induction was assessed. Gamma radiation caused significant effect on parameters such as plumule and rootlet length, germination percentage, germination rate, seedling vigor, rootlet fresh weight, plumule fresh and dry weight ($P \leq 0.01$) and also rootlet dry weight ($P \leq 0.05$). Radiation with 200 gray showed the most promising effects on germination parameters of this species. Compared to the control treatment, radiation with 300 gray and higher caused adverse effects on all mentioned parameters which may be caused by producing free radicals. An LD_{50} of 226.275 gray was estimated for this species and the best estimated dose to induce highest genetic mutation was 181.02 gray.

Keywords: Arnica, adaptation, exposure, genetic diversity, germination speed, mutation.

Corresponding author: J_hadian@sbu.ac.ir