مجله علوم و فنون هسته‌ای، جلد ۹۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹

Journal of Nuclear Science and Technology
Vol. 91, No 1, 2020

تأثیر پرتودهی با پرتو گاما بر جوانه‌زنی و برخی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی گیاهچه‌های غلات، حبوبات و سبزیجات

زهرا رضالو[۱]، سمیرا شهبازی*[۲]، هادی فتح‌اللهی[۲]، حامد عسکری[۲]

۱. گروه تکنولوژی بذر، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، صندوق پستی: ۳۱۴۸۵-۳۱۳، کرج ـ ایران

۲. پژوهشکده‌ی کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۱۴۹۸-۳۱۴۸۵، کرج- ایران

*Email: sshahbazi@aeoi.org.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۸/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۴/۱۵

چکیده

یکی از روش‌های پیش‌تیمار، پرتودهی با پرتوگاما به منظور افزایش جوانه‌زنی بذر و تحریک رشد گیاهچه است. در این پژوهش اثرات دزهای مختلف پرتو گاما بر جوانه‌زنی و صفات رویشی بذر غلات، حبوبات و سبزیجات بررسی گردید. پرتودهی با استفاده از گاماسل با چشمه کبالت ۶۰ و آکتیویته $۷٫۸\times۱۰^{۲}$ Ci، با سرعت پرتوتابی $۰٫۰۸۷$ $Gy.s^{-۱}$ در چهار سطح (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ Gy) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شدند. نتایج نشان داد جوانه‌زنی در بذرهای گندم، ذرت، نخود و گوجه‌فرنگی واکنش مثبت به پرتودهی با پرتو گاما داشتند. اگرچه در بذر لوبیا و پیاز با افزایش دز، جوانه‌زنی کاهش یافت اما در بذرهای ماش، خیار و کاهو با دزهای بالاتر، درصد جوانه‌زنی بیش‌تر شد. واکنش بذرهای مختلف به پرتودهی با پرتو گاما متفاوت است و برای برخی مانند گندم، ذرت، ماش، نخود، گوجه‌فرنگی و خیار می‌توان برای افزایش درصد جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه از پیش‌تیمار با پرتوگاما استفاده کرد. در دیگر صفات رویشی اندازه‌گیری شده نسبت به شاهد، بذرهای لوبیا، پیاز و ماش در اثر پرتودهی افزایش نداشتند ولی بذرهای نخود، گندم، ذرت، خیار، کاهو و گوجه‌فرنگی نسبت به شاهد افزایش داشتند و واکنش مثبت به پیش‌تیمار با پرتو گاما نشان دادند.

کلیدواژه‌ها: پیش‌تیمار با پرتوگاما، جوانه‌زنی، غلات، حبوبات و سبزیجات

The effects of gamma irradiation on germination and morphological traits of some cereals, legumes and vegetables plantlets

Z. Rezaloo[1], S. Shahbazi*[2], H. Fathollahi[2], H. Askari[2]

1. Seed Science and Technology Department, Faculty of Agriculture, Karaj Branch, Islamic Azad University, P.O.Box: 31485-313, Karaj - Iran
2. Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 31485-1498, Karaj - Iran

Research Article

Received 17.11.2018, Accepted 6.7.2019

Abstract

One of priming methods to increase seed germination and seedling growth is gamma irradiation. In the present research, effects of various doses of gamma ray on germination and vegetative traits of cereals, legumes and vegetables were investigated. Irradiation was carried out using gamma cell with ^{60}Co source of 7.8×10^{2} Ci, with irradiation velocity of 0.087 $g.s^{-1}$ in four levels (10, 20, 30 and 40 Gy) in a completely randomized design with 3 replications. The results showed that germination in wheat, corn, chickpea, and tomato seeds had positive reaction to low doses of gamma radiation; However, bean and onion seed germination decreased with increasing germination dose. In mungbean, cucumber, and lettuce seeds, germination percentage increased for higher doses. The response of different seeds to gamma radiation levels is different, and for some seeds such as wheat, corn, mungbean, chickpeas, tomatoes, and cucumbers, priming with gamma irradiation can be used to increase the percentage of germination and seedling growth. In other vegetative traits no increment was observed in beans, onions, and mungbean, compared to control but the seeds of chickpeas, wheat, corn, cucumber, lettuce, and tomato increased compared to control and showed a positive reaction to priming with gamma irradiation.

Keywords: Priming with gamma irradiation, Germination, Cereals, Legumes and Vegetables

۱. مقدمه

پرتو گاما دارای کاربردهای فراوانی در حوزه کشاورزی و محیط زیست است. با توجه به مشکلات موجود در بخش تولید غلات و حبوبات و اهمیت سبزیجات در سبد غذایی و سلامتی مردم ایران مانند تنش‌های خشکی در ابتدای فصل زراعی، تنش‌های دمایی، کاهش درصد جوانه‌زنی در اثر نگه‌داری نامناسب بذر و ... یافتن محرک‌های فیزیکی برای القای جوانه‌زنی و بهبود استقرار گیاهان موضوع پژوهش‌های متعددی در دنیا و ایران بوده است. استقرار موفق گیاهان مهم‌ترین گام در تعیین توانایی رقابت و تجدید نسل در عرصه‌های طبیعی مرتعی است. محرک‌های رشد هم‌چون هورمون‌ها می‌توانند مشکلات مربوط به عدم‌پایداری ژنتیکی را در گیاهان به‌وجود آورند اما محرک-های فیزیکی هم‌چون دزهای مختلف پرتو گاما با ایجاد تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی می‌توانند به‌طور مؤثری در ایجاد تحریک‌های مثبت به‌کار گرفته شوند [۱].

آثار پرتوهای یونیزان بر گیاهان از چند جهت شناخته شده است؛ این پرتوها در دزهای پایین اثر تحریک‌کننده، در دزهای متوسط نتایج نامطلوب و در دزهای بالا آثار مضر و تخریب‌کننده بر گیاهان نشان دادند [۲]. به‌ویژه تأثیر پرتو گاما بر رشد گیاهان از طریق ایجاد تغییرات سیتولوژیک، مورفولوژیک و فیزیولوژیک در سلول‌ها و بافت‌ها بیش‌تر گزارش شده است [۳]. گونه‌های فعال اکسیژن که تحت تأثیر تابش‌های یونیزان هم‌چون پرتوهای فرابنفش و گاما ایجاد می‌شوند، در سیستم‌های زیستی نقش دوگانه‌ای ایفا می‌کنند. اکسیژن فعالی که در فضای خارج از سلول تولید می‌شود، نقش کلیدی در نمو گیاهان ایفا می‌کند و اگر توسط آنتی‌اکسیدان‌ها کنترل نشود می‌تواند سبب تخریب سلول‌ها شده، لیپیدها و نوکلئیک‌اسیدها را هدف قرار داده و تخریب‌کننده باشند. اما در غلظت‌های پایین، اکسیژن فعال دارای اثرات مفید فیزیولوژیک است که تحریک سیگنال‌های سلولی و القای پاسخ‌های میتوژنیک و اکسیداسیون NADPH در بافت‌های گیاهی یکی از آن‌ها به شمار می‌آید. اکسیژن فعال به‌عنوان هدایت‌کننده ثانویه سیگنال‌های تقسیم‌سلولی، فرایندهای رشد و نمو گیاهان را کنترل می‌کنند [۴، ۵].

اکسیژن‌های فعال ترکیباتی هستند که دامنه وسیعی از کارکردهای فیزیولوژیک گیاهان شامل رشد و نمو و میزان پاسخ به انواع محرک‌های استرس‌زای زنده و غیرزنده را تعیین می‌کنند [۶]. تحریک دزهای پایین پرتوهای گاما بر رشد گیاهان در پژوهش‌های فراوانی گزارش شده است [۷]. جوانه زنی مطلوب و در پی آن استقرار مناسب محصول و حصول سبز یکنواخت در مزرعه می‌تواند راه را برای تولید محصولی قابل قبول از نظر کمّی و کیفی هموار سازد. در حقیقت تحقق مطلوب جوانه‌زنی و استقرار گیاه در مزرعه مزیتی اکولوژیک محسوب می‌شود [۸]. از آن‌جا که جوانه‌زنی بذر نقش عمده‌ای در تعیین تراکم نهایی گیاه دارد، به‌عنوان یکی از مراحل حساس در چرخه رشدی گیاهان به‌حساب می‌آید. جوانه‌زنی ضعیف و کاهش رشد گیاهچه منجر به استقرار ضعیف و گاهی نابودی محصولات می‌شود. تیمارهای پیش از کاشت بذر یا پیش‌تیمار یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریت زراعی است که امروزه ابعاد تجاری و صنعتی به خود گرفته است [۹].

هدف از این مطالعه، بررسی کارایی پرتودهی با دز پایین در القای جوانه‌زنی به‌عنوان یک تیمار پیش کاربردی بر بذرهای گروه‌های عمده گیاهان زراعی کشور (غلات: گندم و ذرت، حبوبات: نخود، لوبیا و ماش و سبزیجات: خیار، گوجه‌فرنگی و کاهو و پیاز) بوده است. با توجه به اهمیت جوانه‌زنی و شاخص های رشدی که نشان‌دهنده میزان عملکرد گیاهان هستند، لازم است از فناوری‌های مختلفی برای افزایش کارایی گیاهان استفاده نمود. در این تحقیق پرتو گاما با چشمه کبالت- ۶۰ به عنوان یک پیش تیمار کاربردی بر بذرها که از انواع گیاهان مهم مصرفی روزانه ایران هستند به‌کار برده شده و درصد جوانه‌زنی و وضعیت مورفولوژیکی گیاهان تحت تأثیر پرتو گاما بررسی شده است.

۲. مواد و روش

این تحقیق در پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی واقع در کرج انجام شد. بذرهای استفاده شده از مؤسسه اصلاح بذر و نهال کرج دریافت شد و پس از آزمون‌های اولیه بذر (برای حصول اطمینان از حفظ قوه نامیه بذر) برای پرتودهی و اندازه‌گیری تأثیر پرتو بر

پارامترهای رشدی، مورد استفاده قرار گرفتند. بذرها از ارقام مورد کشت در کشور انتخاب و شامل لوبیا[1] (رقم تلاش)، نخود[2] (رقم بیوه نیج)، گندم[3] (رقم آزادی)، ذرت[4] (رقم مریت)، ماش سبز[5] (رقم NM۹)، خیار[6] (رقم INCI F1)، گوجه‌فرنگی[7] (رقم فلات) و کاهوی پیچ بلند امریکایی[8] بودند.

بذرهای مورد آزمایش به نمونه‌های ۵ گرمی تقسیم شده و در گروه‌های شاهد و تیمار با دزهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ Gy با استفاده از گاماسل با چشمه کبالت- ۶۰ و اکتیویته ۷٫۸×۱۰۲ Ci، با سرعت پرتوتابی ۰٫۰۸۷ $Gy.s^{-1}$ پرتودهی شدند. بذرها قبلاً در اتانول ٪۷۰ به مدت پنج دقیقه ضدعفونی سطحی شده، سپس با آب مقطر دوبار شستشو داده شده و در نهایت به روش ایستا[9] کشت شدند [۱۰]. نمونه‌ها به مدت ۱۰ روز در ژرمیناتور با دمای ۲۵°C نگه‌داری و بعد از اتمام مدت زمان جوانه‌زنی، صفات مربوط به رشد گیاهچه اندازه‌گیری شد. در هنگام شمارش، بذرهایی که طول ریشه‌چه آن‌ها حداقل دو میلی‌متر باشد، جوانه‌زده تلقی شدند.

شاخص‌های مورد ارزیابی در این تحقیق درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه و طول گیاهچه، وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و شاخص‌های بنیه گیاهچه (شاخص ویگور VI: شاخص طولی بنیه گیاهچه) بودند.

$$VI = \frac{\%GR \times SL}{۱۰۰} \qquad (۱)$$

در این رابطه VI شاخص بنیه گیاهچه، GR درصد جوانه‌زنی و SL طول گیاهچه هستند.

برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌های گیاهی به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰°C قرار داده شدند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. داده‌های به‌دست آمده از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SPSS تجزیه شدند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ٪۵ انجام شد. هم‌چنین ترسیم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

۳.نتایج

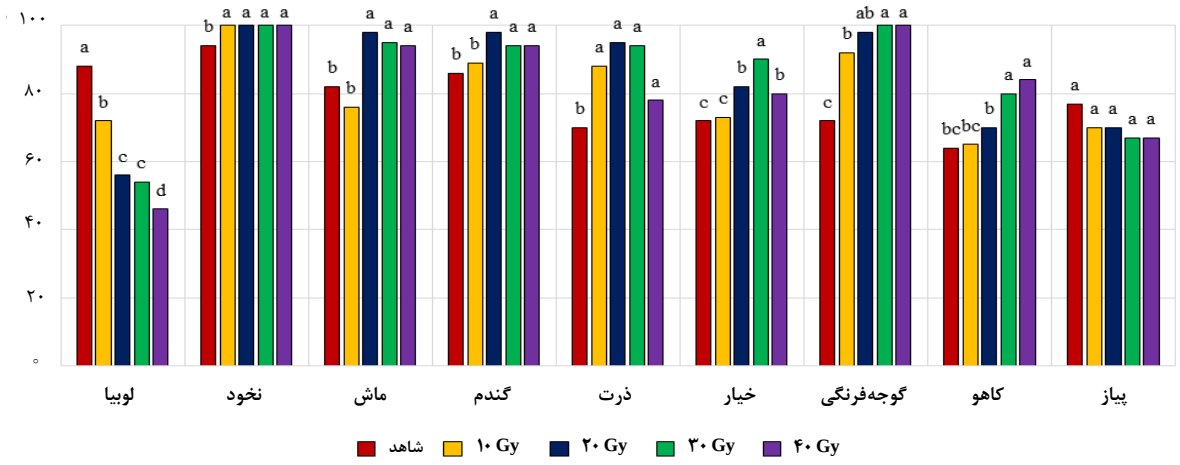
۱.۳ تأثیر پرتو گاما بر قابلیت جوانه‌زنی بذور

در گروه حبوبات، واکنش بذرهای مختلف به پرتودهی با دزهای پایین پرتو گاما متفاوت بود و با افزایش دز پرتو نیز واکنش‌های متفاوتی مشاهده شد. لوبیا به افزایش دز واکنش منفی نشان داد تا جایی که جوانه‌زنی با دز ۴۰ Gy کم‌ترین میزان جوانه زنی بود (٪۴۶) و بیش‌ترین درصد در شاهد (٪۸۸) مشاهده شد (شکل ۱). در حالی‌که درصد جوانه‌زنی در بذر نخود (شاهد) ٪۹۴ بود و این گیاه با پرتودهی دز پایین، جوانه‌زنی ٪۱۰۰ را نشان داد و افزایش دز نتوانست از درصد جوانه‌زنی بکاهد.

بذر ماش نیز به تیمار پرتودهی واکنش مثبت نشان داد؛ میانگین درصد جوانه‌زنی در ماش نشان داد پرتودهی در دزهای ۱۰ و ۲۰ Gy به افزایش درصد جوانه‌زنی منجر شده و دز ۲۰ Gy بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (٪۹۸) را داشته است. اما با افزایش دز مجدداً درصد جوانه‌زنی کاهش یافت و دزهای ۳۰ و ۴۰ Gy تفاوت معنی‌داری در سطح ٪۵ با شاهد نداشتند (شکل ۱).

در گروه غلات، به طور کلی استفاده از دزهای پایین پرتو ابتدا به افزایش درصد جوانه‌زنی منجر شد اما با افزایش دز (۳۰ و ۴۰ Gy) درصد جوانه‌زنی اندکی کاهش یافت، هرچند تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در بذر گندم تیمار با ۲۰ Gy، بالاترین درصد جوانه‌زنی (٪۹۸) را داشت. تیمار با ۳۰ و ۴۰ Gy به ترتیب ٪۸۸ و ٪۸۴ با ۱۰ Gy تفاوت معنی‌داری نداشتند. با توجه به قوه نامیه بالای بذر گندم مورد استفاده در این تحقیق می‌توان دز ۲۰ Gy را برای سبز شدن یکنواخت بذر گندم که از کیفیت قابل‌قبولی برخوردار باشند توصیه نمود. در بذر ذرت مورد بررسی با توجه به قوه نامیه حدود ٪۷۰ در شاهد، پرتودهی با دزهای پایین پرتو گاما توانست به افزایش درصد جوانه‌زنی منجر شود و تا ۲۰ Gy این روند افزایشی ادامه یافت (٪۹۵)، اما در دزهای ۳۰ و ۴۰ Gy مجدداً درصد جوانه‌زنی افت نمود. بنابراین دز ۲۰ Gy در این گیاه را می‌توان به‌عنوان دز بهینه برای اصلاح درصد جوانه‌زنی بذر در نظر گرفت (شکل ۱).

1. Phseolus Vulgaris Pinto Group
2. Cicer Arietinum
3. Triticum Aestivum L
4. Zea Mayz
5. Vigna Radiata L
6. Cucumis Sativus
7. Solanum Lycopersicum
8. Lactuca Sativa
9. ISTA: The International Seed Testing Association



شکل ۱. نمودار درصد جوانه‌زنی بذور تیمار شده با دزهای گاما.

در بذرهای سبزیجات، با توجه به کوچک‌تر بودن ابعاد بذر و ضخامت اندک پوسته، شدت تغییرات در جوانه‌زنی با تیمار پرتودهی کاملاً معنی‌دار شد؛ اگرچه واکنش گیاهان مختلف در این گروه با یک‌دیگر متفاوت بود و گوجه‌فرنگی بهترین واکنش و پیاز ضعیف‌ترین واکنش را نشان داد. در بذر خیار که درصد جوانه‌زنی شاهد ٪۷۲ بود، با اعمال دز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما با افزایش دز تا ۳۰ Gy، درصد جوانه‌زنی به ٪۹۰ ارتقا یافت. البته در دز ۴۰ Gy تفاوت معنی‌داری با دز ۲۰ Gy مشاهده نشد. در گوجه‌فرنگی میزان جوانه‌زنی از شاهد (٪۷۰) به ٪۱۰۰ در دزهای ۳۰ و ۴۰ Gy افزایش یافت و بهترین واکنش را در بین سبزیجات به تیمار پرتودهی دز پایین نشان داد. میانگین درصد جوانه‌زنی در تمام بذرهای کاهو تحت پرتودهی با دزهای پایین پرتو گاما در هر ۴ سطح پرتو باعث بالا رفتن درصد جوانه‌زنی شد؛ به طوری‌که در تیمار ۴۰ Gy با ٪۸۵ جوانه‌زنی بیش‌ترین میانگین جوانه‌زنی را در بین تیمارها داشته و با بالا رفتن دز پرتودهی، درصد جوانه‌زنی نیز افزایش یافت. شاهد با ٪۶۵، کم‌ترین میزان جوانه‌زنی را داشت. تیمارهای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ Gy به‌ترتیب ٪۱۰، ٪۱۶ و ٪۲۰ جوانه زنی را بالا برد (شکل ۱). بذرهای پیاز در واقع به پرتودهی با دز پایین پرتو گاما واکنش منفی نشان دادند؛ همان‌طورکه در شکل ۱ مشاهده می‌شود، درصد جوانه‌زنی پیاز در مقایسه با شاهد (٪۷۷)، با اعمال دزهای ۱۰ و ۲۰ Gy به ٪۷۴ افت نمود و با افزایش دز، میزان کاهش درصد جوانه‌زنی نیز بیش‌تر شد (٪۷۰). هر چند از نظر آماری این کاهش درصد جوانه‌زنی معنی‌دار نیست اما نشان می‌دهد این تکنیک برای همه گیاهان قابل تعمیم نیست؛ در حالی‌که در گوجه‌فرنگی می‌توان درصد جوانه‌زنی را به‌طور کامل افزایش داد، در پیاز این تیمار به افت جوانه‌زنی منجر خواهد شد (شکل ۱).

۲.۳ تأثیر پرتو گاما بر ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه‌های حبوبات

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و بنیه گیاهچه‌های حبوبات در جدول ۱ ارایه شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، همه شاخص‌ها به‌جز وزن تر و خشک ساقه در گیاهچه نخود در سطح ٪۱ تفاوت معنی‌داری را نشان دادند که تأثیر مستقیم اعمال دزهای پایین پرتو گاما را بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی گیاهچه‌ها به اثبات می‌رساند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و درصد جوانه‌زنی گیاهچه‌های نخود (جدول ۱) نشان داد، از بین ویژگی‌های ریخت‌شناسی مورد بررسی، صفات طول ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر تیمارهای دزهای مختلف پرتو گاما قرار گرفتند. هم‌چنین اثر دزها بر طول ریشه‌چه و وزن تر ریشه‌چه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و درصد جوانه‌زنی گیاهچه‌های ماش (جدول ۱) نشان داد تمام صفات مورد بررسی به‌صورت معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر دزهای پرتو گاما قرار گرفتند.

جدول ۱. تجزیه واریانس قابلیت جوانه‌زنی و ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه‌های حبوبات

بذر		درجه آزادی	درصد جوانه زنی	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	وزن تر ساقه چه	وزن تر ریشه چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	بنیه گیاهچه
	تیمار	۴	۷۲٫۶۳۳ **	۰۱٫۵۰ **	۳۸٫۳۲ **	۶۹٫۲۳۸ **	۲۰٫۱۷ **	۲۰٫۶۱ **	۶۰٫۲ **	۱۷۵۲۲٫۹۴**
لوبیا	خطا	۱۴	۸۷٫۷۶	۶۵٫۴	۱۸٫۱	۴۹٫۹	۷۵٫۱	۱۰٫۵	۵۰٫۰	۸۰۰٫۶۰
	ضریب تغییرات ٪		۹۳٫۱۰	۷۱٫۱۶	۴۲٫۳	۷۰٫۳	۶۷٫۵	۳۴٫۵	۴۷٫۶	۱۲٫۴۸
	تیمار	۴	۶۰٫۲۷ ns	۳۲٫۴ **	۱۲٫۵ *	۷۴٫۱۹ ns	۱۱٫۹ *	۰۸٫۹ ns	۲۶٫۳ **	۲۲٫۱۱**
نخود	خطا	۱۴	۸۰٫۸	۶۵٫۰	۰۴٫۱	۹۲٫۶	۱۶٫۲	۳۶٫۳	۲۷٫۰	۲٫۵۹
	ضریب تغییرات٪		۰۵٫۳	۷۶٫۸	۲۲٫۱۲	۳۱٫۱۷	۷۷٫۲۱	۷۰٫۲۴	۲۰٫۲۲	۹٫۸۳
	تیمار	۴	۱۶٫۴۱۳ **	۴۷٫۵۶ **	۲۸٫۶۷ **	۴۲٫۳ **	۲۸٫۱**	۰۶۹٫۰**	۰۰۶٫۰ **	۲۳۸۵۷٫۸۶ **
ماش	خطا	۱۴	۱۶٫۴۵	۷۹٫۰	۵۷٫۰	۰۴٫۰	۰۱٫۰	۰۰۷٫۰	۰۰۰۱٫۰	۲۳۶٫۷۷
	ضریب تغییرات٪		۵۴٫۷	۹۲٫۷	۶۵٫۶	۸۱٫۵	۱۰٫۱۰	۱۵٫۱۱	۲۳٫۸	۷٫۷۳

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ٪۵ و عدم اختلاف معنی‌داری می‌باشند.

۱.۲.۳ لوبیا

با افزایش میزان پرتو گاما، طول ساقه‌چه کاهش یافت. طول ساقه‌چه در دز ۱۰ Gy افزایش یافته بود و تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت اما در دزهای بالاتر، طول ساقه‌چه کم‌تر شده بود به‌طوری‌که در دز ۴۰ Gy طول ساقه‌چه ٪۵۰ نسبت به شاهد کاهش یافت. طول ریشه‌چه در لوبیا نیز در اثر اعمال دزهای پایین پرتو گاما اندکی کاهش یافت هرچند این کاهش طول برای ریشه‌چه کم‌تر از ساقه‌چه بود. با توجه به اهمیت وزن خشک اندام هوایی و ریشه برای ارزیابی تأثیر تیمارها می‌توان روند کاهشی وزن خشک و تر ساقه‌چه و ریشه‌چه را در گیاهچه‌های لوبیا در اثر پرتودهی با دزهای پرتو گاما به خوبی مشاهده نمود. به‌طور کلی استفاده از تیمارهای پرتو گاما بر شاخص‌های ریخت‌شناسی گیاهچه‌های لوبیا تأثیر نامطلوب داشته است و این تیمار برای لوبیا قابل توصیه نمی‌باشد.

وزن خشک ریشه‌چه در تیمار ۲۰ Gy (۳٫۴۹ گرم) مشاهده شد و در تیمار ۴۰ Gy (۰٫۹۵ گرم) مشاهده شد. راولینگ و همکاران، در بررسی تأثیر پرتو در سویا وجود تنوع معنی‌دار در ارتفاع گیاه را گزارش کردند [۹].

۲.۲.۳ نخود

همان‌طورکه درصد جوانه‌زنی در نخود با اعمال دزهای پرتو گاما افزایش یافت، ویژگی‌های ریخت‌شناسی گیاهچه‌های نخود نیز واکنش مثبت نشان دادند به‌طوری‌که طول ساقه‌چه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و در حالی‌که اندام هوایی واکنش معنی‌داری به دزهای پرتو گاما نشان داد، این واکنش در ریشه چه مشاهده نشد و با وجود افزایش اندک طول ریشه‌چه نخود در دزهای گاما، این افزایش طول از نظر آماری معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین وزن تر اندام هوایی در ریشه‌چه نیز روند مشابهی داشت و با افزایش دز وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه در گیاهچه‌های نخود بالاتر رفت. به‌طور کلی بذرهای نخود به اعمال تیمار پرتودهی در کلیه صفات جوانه‌زنی و ریخت‌شناسی واکنش مثبت نشان دادند (جدول ۲).

موسی در سال ۲۰۰۶، پس از بررسی پرتوتابی بذور گیاه Eruca vesicria با دزهای ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ Gy ناشی از پرتو گاما گزارش کرد که دز ۲۰ Gy بر جوانه‌زنی بذر گونه مورد تحقیق، اثر تحریک‌کننده مثبت داشته و در دزهای بالاتر به‌صورت تدریجی با افزایش میزان دز پرتو گاما تأثیر منفی بیش‌تری بر جوانه‌زنی مشاهده شد [۱۱].

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در سطوح مختلف دزها در بذر حبوبات

بذر	دز پرتودهی	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن تر ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	بنیه گیاهچه
لوبیا	شاهد	۲٫۷۲^{a}	۸٫۷۴^{a}	۴٫۲۲^{c}	۲۸٫۱۱^{a}	۱۱٫۱۰^{a}	۱۲٫۰۰^{ab}	۲۰٫۴۸^{a}
	۱۰ Gy	۱٫۵۹^{a}	۷٫۳۳^{ab}	۴٫۵۹^{c}	۲۲٫۷۲^{bc}	۱۰٫۶۰^{a}	۱۳٫۸۰^{a}	۱۶٫۷۳^{a}
	۲۰ Gy	۳٫۴۹^{a}	۳٫۹۹^{bc}	۶٫۴۹^{bc}	۱۹٫۳۸^{c}	۸٫۹۰^{c}	۸٫۰۰^{c}	۶٫۴۵^{b}
	۳۰ Gy	۲٫۹۵^{b}	۲٫۸۴^{c}	۹٫۰۸^{a}	۱۸٫۲۳^{c}	۶٫۱۰^{b}	۷٫۹۰^{c}	۹٫۷۲^{b}
	۴۰ Gy	۰٫۹۵^{d}	۱٫۵۲^{d}	۷٫۸۶^{ab}	۱۷٫۶۴^{c}	۷٫۰۰^{b}	۶٫۱۰^{cd}	۶٫۰۶^{b}
نخود	شاهد	۲٫۷۲^{a}	۸٫۷۴^{a}	۴٫۷۲^{c}	۱۳٫۱۱^{ab}	۸٫۳۰^{a}	۸٫۵۰^{b}	۱۵٫۷۳^{b}
	۱۰ Gy	۱٫۵۹^{b}	۸٫۱۶^{a}	۵٫۵۹^{bc}	۱۴٫۷۲^{ab}	۸٫۶۰^{a}	۱۱٫۳۰^{a}	۲۱٫۹۰^{a}
	۲۰ Gy	۳٫۴۹^{a}	۴٫۵۰^{b}	۶٫۴۹^{abc}	۱۵٫۳۸^{ab}	۸٫۴۰^{a}	۱۱٫۵۰^{a}	۱۵٫۵۹^{b}
	۳۰ Gy	۲٫۹۵^{a}	۷٫۱۷^{ab}	۷٫۰۸^{a}	۱۸٫۲۳^{a}	۸٫۸۰^{a}	۱۲٫۱۰^{a}	۱۵٫۸۷^{b}
	۴۰ Gy	۰٫۹۵^{b}	۸٫۵۲^{a}	۸٫۸۶^{ab}	۱۹٫۶۴^{a}	۸٫۶۰^{a}	۱۲٫۶۰^{a}	۱۶٫۲۰^{b}
ماش	شاهد	۰٫۰۵^{b}	۰٫۷۸^{a}	۰٫۵۸^{b}	۳٫۰۴^{a}	۸٫۴۰^{a}	۱۰٫۰۰^{a}	۱۵٫۲۵^{a}
	۱۰ Gy	۰٫۰۷^{a}	۰٫۸۱^{a}	۰٫۷۴^{a}	۳٫۹۹^{a}	۷٫۹۰^{a}	۷٫۲۰^{b}	۱۱٫۲۵^{b}
	۲۰ Gy	۰٫۰۶^{a}	۰٫۵۱^{b}	۰٫۶۸^{a}	۲٫۵۸^{b}	۶٫۳۰^{b}	۶٫۵۰^{b}	۱۲٫۵۶^{b}
	۳۰ Gy	۰٫۰۴^{b}	۰٫۴۹^{b}	۰٫۴۶^{b}	۲٫۱۲^{b}	۵٫۴۰^{b}	۴٫۱۰^{c}	۴٫۰۰^{c}
	۴۰ Gy	۰٫۰۳^{c}	۰٫۲۸^{c}	۰٫۳۸^{c}	۱٫۷۶^{c}	۴٫۹۰^{c}	۳۰٫۶۰^{c}	۱۷٫۲۸^{a}

ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

۳.۲.۳ ماش

طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در اثر پرتودهی بذر با دزهای مختلف پرتو گاما کاهش یافت و با افزایش دز از ۱۰ به ۴۰ Gy، این کاهش طول بیش‌تر دیده شد اما واکنش ریشه بسیار کم‌تر از ساقه بود به‌طوری‌که در دز ۴۰ Gy طول ساقه‌چه به ۱٫۳ شاهد کاهش یافت اما طول ریشه‌چه نسبت به شاهد نصف شده بود. این در حالی بود که شاخص‌های وزن با اعمال دز ۱۰ Gy نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان دادند و در دزهای ۲۰ و ۳۰ Gy وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نسبت به ۱۰ Gy پایین‌تر بود. پرتودهی بذر گندم با دز ۲۰ Gy پرتو گاما سرعت و درصد جوانه‌زنی را افزایش داده و سیستم ریشه ای گیاهان کشت شده از بذور پرتو داده از نظر طول، حجم و وزن توسعه یافته‌تر بوده است [۱۲].

۳.۳ تأثیر پرتو گاما بر ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه‌های غلات

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و بنیه گیاهچه‌های غلات در جدول ۳ ارایه شده است. به‌جز وزن تر و خشک ریشه‌چه در ذرت، سایر صفات تفاوت معنی‌داری در سطح ٪۱ را نشان دادند که نشان دهنده اثر تیمار با دزهای پایین پرتو گاما بر گیاهچه‌های غلات است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و درصد جوانه‌زنی گیاهچه‌های گندم (جدول ۳) نشان داد از بین ویژگی‌های مورد بررسی، صفات درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن تر ساقه چه، وزن تر ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه در سطح احتمال ٪۱ دارای اختلاف معنی‌دار بودند و فقط صفت وزن خشک ریشه‌چه در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر تیمارهای دزهای پایین پرتو گاما قرار گرفت.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات مورفولوژیکی و درصد جوانه‌زنی گیاهچه‌های ذرت (جدول ۳) نشان داد، از بین صفات مورفولوژیک مورد بررسی، صفات درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و وزن تر و خشک ساقه چه به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ٪۱) تحت تأثیر تیمارهای دزهای مختلف پرتو گاما قرار گرفتند. هم‌چنین اثر دزها بر طول ریشه‌چه در سطح احتمال ٪۵ معنی‌دار بود. صفات وزن تر و خشک ریشه‌چه تحت تأثیر دزهای پایین پرتو گاما قرار نگرفتند.

جدول ۳. تجزیه واریانس قابلیت جوانه‌زنی و ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه‌های غلات

بذر		درجه آزادی	درصد جوانه زنی	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	وزن تر ساقه چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	بنیه گیاهچه
گندم	تیمار	۴	۱۹٫۳۱۷ **	۹۷.۵۳ **	۲۹٫۶۱ **	۴۸٫۴ **	۳۶٫۲ **		۰۰۵٫۰ **	۲۳۸۵۷٫۸۶ **
	خطا	۱۴	۱۳٫۴۸	۵۹.۰	۷۴٫۰	۰۵٫۰	۰۲٫۰	۰۰۸٫۰	۰۰۱٫۰	۲۳۶٫۷۷
	ضریب تغییرات٪		۹۳٫۷	۰۱.۸	۷۴٫۷	۰۶۱٫۰ **	۱۲٫۱۰	۰۲٫۷	۸۲٫۱۵	۸٫۴۹
ذرت	تیمار	۴	۰۶٫۳۵۳ **	۱۲٫۵ **	۴۷٫۹ *	۶۳٫ ۱۲ **	۰۴٫۰ ns	۸۷٫۳ **	۰٫۳۱ ns	۵۳۶۶٫۰۱ **
	خطا	۱۴	۴۶٫۲۳	۱۵٫۰	۷۸٫۱	۷۴٫۰	۳۱٫۰	۰۶٫۰	۱۱٫۰	۸۰٫۸۱
	ضریب تغییرات٪		۶۹٫۵	۸۶٫۳	۰۵٫۹	۴۶٫۶	۴۷٫۳	۶۳٫۷	۵۰٫۸	۱۱٫۵۲

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم‌اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

۱.۳.۳ گندم

طول ساقه‌چه در گندم‌های پرتودهی شده نسبت به شاهد افزایش یافت و بیش‌ترین طول ساقه‌چه در ۲۰ Gy مشاهده گردید. روند افزایش طول در ریشه‌چه‌ها نیز مشاهده شد و به طور کلی گیاهچه‌های حاصل از بذرهای تیمار شده با ۲۰ Gy بالاترین طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن تر و خشک را داشتند. واکنش بذر گندم به این تیمارها به طور کلی مثبت بود اما با افزایش دز از ۲۰ به ۳۰ و ۴۰ Gy، ویژگی‌های مورد بررسی اندکی کاهش نشان دادند (جدول ۴). اصلاح‌گران با کاربرد پرتو در جو به بوته‌هایی با جوانه‌زنی بیش‌تر دست یافتند [۱۳].

۲.۳.۳ ذرت

گیاهچه‌های ذرت نیز روندی مشابه گندم داشتند به‌طوری‌که اعمال دزهای پایین پرتو گاما بر گیاهچه‌ها به بهبود شاخص های ریخت‌شناسی منجر شد و بالاترین طول ساقه و ریشه‌چه و وزن تر و خشک در دز ۲۰ Gy مشاهده گردید (جدول ۴). تفاوت عمده در این‌جا بود که طول ریشه‌چه در ذرت به مراتب بیش‌تر از ساقه به دزهای پرتو گاما واکنش نشان داد، در حالی‌که در گندم واکنش ساقه‌چه بیش‌تر از ریشه‌چه بود.

۴.۳ تأثیر پرتو گاما بر ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه‌های سبزیجات

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی، بنیه‌ای و درصد جوانه‌زنی گیاهچه های سبزیجات (خیار، گوجه‌فرنگی، کاهو و پیاز) حاصل از بذرهای پرتودیده اثر تیمار در بیش‌تر شاخص‌های مورد اندازه‌گیری در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است و واکنش گیاهان مختلف در این گروه با یک‌دیگر متفاوت بوده است (جدول ۵).

در گیاهچه‌های خیار، تجزیه واریانس نشان داد تمام صفات مورد بررسی به‌صورت معنی‌داری (در سطح احتمال ۱٪) تحت تأثیر دزهای پرتو گاما قرار گرفتند.

در گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی از بین شاخص‌های ریخت شناسی مورد بررسی، صفات درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۱٪) تحت تأثیر تیمارهای دزهای مختلف پرتو گاما قرار گرفتند. هم‌چنین اثر دزها بر وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. صفات وزن تر ساقه‌چه و ریشه‌چه تحت تأثیر دزهای پایین پرتو گاما قرار نگرفتند.

از بین شاخص‌های ریخت‌شناسی در گیاهچه‌های کاهو، همه شاخص‌های مورد بررسی صفات درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن تر ساقه‌چه و ریشه‌چه به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۱٪) تحت تأثیر تیمارهای دزهای مختلف پرتو گاما قرار گرفتند اما صفت وزن خشک ساقه‌چه تحت تأثیر دزهای پایین پرتو گاما قرار نگرفت.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده ریخت‌شناسی در گیاهچه‌های پیاز حاصل از بذرهای پرتودیده (جدول ۵) نشان داد، تمام صفات مورد بررسی به‌صورت معنی داری (در سطح احتمال ۱٪) تحت تأثیر دزهای پرتو گاما قرار گرفتند.

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در سطوح مختلف دزها در بذر غلات

بنیه گیاهچه	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	وزن تر ساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	دز پرتودهی	بذر
۱۵٫۲۵^{b}	۱۰٫۰۰^{b}	۴٫۴۰^{a}	۲٫۰۴^{b}	۰٫۵۸^{ab}	۰٫۲۸^{b}	۰٫۰۵^{a}	شاهد	
۱۱٫۲۵^{c}	۱۱٫۲۰^{ab}	۵٫۶۰^{ab}	۲٫۹۹^{ac}	۰٫۵۴^{ab}	۰٫۳۱^{ab}	۰٫۰۵^{ab}	۱۰ Gy	
۱۲٫۵۶^{c}	۱۲٫۵۰^{a}	۶٫۳۰^{a}	۳٫۵۸^{a}	۰٫۶۸^{a}	۰٫۴۹^{a}	۰٫۰۶^{a}	۲۰ Gy	گندم
۴٫۰۰^{d}	۱۲٫۱۰^{a}	۵٫۴۰^{ab}	۳٫۱۲^{a}	۰٫۵۵^{ac}	۰٫۴۱^{a}	۰٫۰۵^{ab}	۳۰ Gy	
۱۷٫۲۸^{a}	۱۱٫۶۰^{ab}	۴٫۹۰^{b}	۲٫۹۶^{ab}	۰٫۴۸^{b}	۰٫۳۸^{ab}	۰٫۰۴^{b}	۴۰ Gy	
۱۴٫۷۴^{b}	۸٫۸۲^{b}	۱۲٫۳۴^{b}	۱۰٫۶۷^{b}	۱٫۴۶^{b}	۲٫۷۹^{b}	۰٫۱۴^{c}	شاهد	
۲۲٫۵۰^{d}	۹٫۹۲^{b}	۱۳٫۷۱^{b}	۱۳٫۲۷^{ab}	۱٫۷۵^{a}	۳٫۳۴^{ab}	۰٫۶۲^{b}	۱۰ Gy	
۲۴٫۲۶^{a}	۱۱٫۰۴^{a}	۱۶٫۴۷^{a}	۱۵٫۸۲^{a}	۱٫۷۸^{a}	۴٫۵۸^{a}	۰٫۸۵^{a}	۲۰ Gy	ذرت
۲۵٫۳۹^{a}	۱۰٫۵۸^{a}	۱۶٫۴۱^{a}	۱۴٫۲۴^{ab}	۱٫۵۵^{b}	۴٫۳۴^{b}	۰٫۶۷^{ab}	۳۰ Gy	
۲۰٫۰۲^{c}	۱۰٫۹۲^{a}	۱۵٫۷۹^{ab}	۱۵٫۵۱^{a}	۱٫۵۰^{b}	۴٫۲۰^{b}	۰٫۵۸^{b}	۴۰ Gy	

ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

جدول ۵. تجزیه واریانس قابلیت جوانه‌زنی و ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه‌های سبزیجات

بذر		درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	وزن تر ساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	بنیه گیاهچه
	تیمار	۴	۴٫۲۲۴**	۷۹٫۸۹**	۸۶٫۳**	۷۵٫۵**	۱۴٫۰**	۰۲٫۰**	۰۰۳٫۰**	۸۷۸۳٫۵۸**
خیار	خطا	۱۴	۸٫۰	۰۹٫۰	۰۵٫۰	۰۰۶٫۰	۰۰۴٫۰	۰۰۳٫۰	۰۰۰۱٫۰	۳۵٫۶۵
	ضریب تغییرات٪		۶٫۳	۳۲٫۲	۸۲٫۱۲	۷۸٫۱	۸٫۶	۲۱٫۱۵	۲۸٫۱۴	۹٫۴۹
	تیمار	۴	۶۰٫۳۷۵**	۷۶٫۱۴**	۷۰٫۳**	۰۴۸٫۰^{ns}	۰٫۰۰۴^{ns}	۰۰۱٫۰*	۰۰۰۳٫۰*	۵۰٫۹۹**
گوجه فرنگی	خطا	۱۴	۴٫۱۴	۲۷٫۰	۱۴٫۰	۰۲٫۰	۰۰۲٫۰	۰۰۰۲٫۰	۰۰۰۱٫۰	۰٫۹۲
	ضریب تغییرات٪		۱٫۴	۲۷٫۷	۸۸٫۴	۷۷٫۱۶	۸۱٫۹	۳۱٫۷	۱٫۱۱	۲٫۸۲
	تیمار	۴	۰۰٫۲۸۲**	۴۰۵٫۰**	۵۳٫۱**	۳۰۰٫۰**	۰۰۶٫۰**	۰۰۲٫۰^{ns}	۰۰۲٫۰**	۴٫۴۱**
کاهو	خطا	۱۴	۲٫۱۱	۰۴۵٫۰	۰۶۵٫۰	۰۰۱٫۰	۰۰۲٫۰	۰۰۱٫۰	۰۰۱٫۰	۰٫۱۹
	ضریب تغییرات٪		۶۴٫۴	۷۲٫۳	۳۴٫۶	۲۷٫۱۵	۳۶٫۲۲	۵۸٫۲۲	۲٫۶	۵٫۸۲
	تیمار	۴	۵۰٫۵۰۶*	۶۶٫۱۳**	۵۲٫۰^{ns}	۱۳٫۰**	۰۲٫۰**	۰۰۳٫۰^{ns}	۰۰۳٫۰**	۱۱۳۹٫۸۰**
پیاز	خطا	۱۴	۶٫۸۷	۱۱٫۱	۱۵٫۰	۰۰۴٫۰	۰۰۱٫۰	۰۰۲٫۰	۰۰۱٫۰	۱۷۴٫۰۰
	ضریب تغییرات٪		۹۳٫۱۶	۳۷٫۵	۶۱٫۳	۳۹٫۷	۹۸٫۲	۲۹٫۸	۹٫۲	۱۳٫۹۳

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم‌اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

۱.۴.۳ خیار

میانگین طول ساقه‌چه نشان داد در تیمار ۴۰ Gy با ۱۷٫۱۰cm طول افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (۳٫۴۲ cm) داشته است. تیمارهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ Gy به‌ترتیب ۱۳٫۲۰، ۱۵٫۱۰ و ۱۵٫۶۰ نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشتند. میانگین طول ریشه‌چه در تیمار ۲۰ Gy معادل ۷٫۸۰ cm بوده و نسبت به شاهد ۱٫۳ برابر افزایش معنی‌دار داشته است. تیمارهای شاهد، ۳۰ و ۴۰ Gy در یک گروه‌بندی قرار گرفتند (جدول ۶).

میانگین وزن تر ساقه‌چه در تیمارهای ۳۰ و ۴۰ Gy به ترتیب ۲٫۵ و ۲٫۴ برابر نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشتند. وزن تر ریشه‌چه در تیمار ۳۰ Gy با ۱٫۱۴ گرم، دو برابر افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد داشت. تیمارهای ۱۰ و ۲۰ Gy به ترتیب ۰٫۹۵ و ۰٫۹۷ بودند و نسبت به شاهد ۱٫۶ و ۱٫۷ برابر افزایش معنی‌دار داشتند. وزن خشک ساقه‌چه در تیمار ۳۰ Gy معادل ۰٫۵۰ گرم بود و نسبت به شاهد ۱٫۶ برابر افزایش معنی‌دار داشت. طبق مشاهدات این آزمایش، با افزایش دز در تیمارها وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه گیاهچه‌های خیار افزایش یافت (جدول ۶).

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در سطوح مختلف دزها

بذر	دز پرتودهی	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن تر ساقه چه	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	بنیه گیاهچه
خیار	شاهد	۰٫۰۳^{b}	۰٫۳۰^{b}	۰٫۵۶^{c}	۲٫۱۹^{d}	۵٫۸۰^{b}	۳٫۴۲^{d}	۶٫۸۱^{c}
	۱۰ Gy	۰٫۰۶^{c}	۰٫۳۹^{b}	۰٫۹۵^{b}	۳٫۷۱^{c}	۵٫۷۰^{c}	۱۳٫۲۰^{c}	۱۲٫۱۵^{b}
	۲۰ Gy	۰٫۰۸^{b}	۰٫۴۷^{ab}	۵٫۸۰^{b}	۵٫۱۱^{b}	۷٫۸۰^{a}	۱۵٫۱۰^{b}	۱۸٫۷۸^{a}
	۳۰ Gy	۵٫۰۶^{b}	۰٫۵۰^{a}	۱٫۱۴^{a}	۵٫۳۸^{a}	۵٫۶۰^{b}	۱۵٫۶۰^{b}	۱۹٫۰۸^{a}
	۴۰ Gy	۰٫۱۱^{a}	۰٫۵۴^{c}	۱٫۰۶^{ab}	۵٫۳۴^{a}	۵٫۸۰^{b}	۱۷٫۱۰^{a}	۱۸٫۳۳^{a}
گوجه فرنگی	شاهد	۰٫۰۰۴^{b}	۰٫۰۳^{b}	۰٫۱۶^{a}	۰٫۵۴^{b}	۵٫۸۰^{c}	۳٫۴۲^{d}	۶٫۶۴^{c}
	۱۰ Gy	۰٫۰۰۵^{b}	۰٫۰۴^{ab}	۰٫۱۹^{a}	۰٫۶۹^{ab}	۸٫۶۰^{a}	۶٫۹۰^{c}	۱۴٫۲۶^{b}
	۲۰ Gy	۰٫۰۱۹^{a}	۰٫۰۵^{a}	۰٫۱۹^{a}	۰٫۸۷^{a}	۸٫۴۰^{a}	۰۹٫۰۰^{a}	۱۷٫۰۴^{a}
	۳۰ Gy	۰٫۰۱۷^{a}	۰٫۰۵^{a}	۰٫۲۱^{a}	۰٫۸۱^{a}	۷٫۶۰^{b}	۸٫۴۰^{ab}	۱۵٫۰۵^{b}
	۴۰ Gy	۰٫۰۱۹^{a}	۰٫۰۶^{a}	۰٫۱۸^{a}	۰٫۷۶^{ab}	۷٫۹۰^{ab}	۸٫۰۰^{b}	۱۵٫۹۰^{ab}
کاهو	شاهد	۰٫۰۰۵^{b}	۰٫۰۰۷^{b}	۰٫۱۲^{b}	۰٫۱۷^{b}	۲٫۹۵^{d}	۱٫۴۰^{b}	۲٫۸۱^{d}
	۱۰ Gy	۰٫۰۰۷^{ab}	۰٫۰۱۶^{ab}	۰٫۱۷^{ab}	۰٫۱۸^{b}	۳٫۷۰^{c}	۲٫۲۰^{a}	۳٫۶۵^{c}
	۲۰ Gy	۰٫۰۰۷^{ab}	۰٫۰۰۱۹^{a}	۰٫۱۶^{ab}	۰٫۱۹^{b}	۴٫۲۰^{b}	۲٫۳۰^{a}	۴٫۵۵^{b}
	۳۰ Gy	۰٫۰۰۹^{a}	۰٫۰۱۱^{b}	۰٫۱۶^{ab}	۰٫۲۴^{a}	۴٫۷۵^{a}	۲٫۲۰^{a}	۵٫۵۷^{a}
	۴۰ Gy	۰٫۰۰۹^{a}	۰٫۰۱۸^{a}	۰٫۱۹^{a}	۰٫۲۳^{a}	۴٫۵۰^{ab}	۲٫۱۵^{ab}	۵٫۵۹^{a}
پیاز	شاهد	۰٫۰۲^{c}	۰٫۰۳۰^{b}	۰٫۰۲^{c}	۰٫۱۶^{b}	۳٫۰۶^{b}	۵٫۶۵^{b}	۶٫۶۶^{bc}
	۱۰ Gy	۰٫۰۷^{b}	۰٫۰۵^{b}	۰٫۰۴^{b}	۰٫۲۱^{b}	۳٫۲۰^{b}	۹٫۲۰^{a}	۵٫۵۰^{c}
	۲۰ Gy	۰٫۰۹^{a}	۰٫۰۹^{a}	۰٫۰۹^{a}	۰٫۴۲^{a}	۳٫۲۰^{b}	۱۰٫۷۰^{a}	۱۰٫۲۹^{a}
	۳۰ Gy	۰٫۰۰۸^{a}	۰٫۰۹^{a}	۰٫۱۰^{a}	۰٫۵۴^{a}	۳٫۸۰^{ab}	۱۱٫۰۰^{a}	۹٫۲۵^{a}
	۴۰ Gy	۰٫۰۷^{b}	۰٫۰۸^{a}	۰٫۰۷^{b}	۰٫۳۲^{ab}	۴٫۰۰^{a}	۹٫۶۰^{a}	۸٫۵۹^{ab}

ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

۲.۴.۳ گوجه‌فرنگی

طول ساقه‌چه در تیمار ۲۰ Gy، ۲٫۶ برابر نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشت. تیمارهای ۳۰ و ۴۰ Gy نیز به‌ترتیب ۲٫۵ و ۲٫۳ برابر نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشتند. تیمارهای ۳۰ و ۴۰ Gy در یک گروه‌بندی بودند و با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. طول ساقه‌چه در تیمار ۱۰ Gy نسبت به شاهد ۲ برابر افزایش معنی‌دار داشت. طول ریشه‌چه در تیمارهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ Gy با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند اما به‌ترتیب ۱٫۵، ۱٫۴ و ۱٫۳ برابر نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشتند (جدول ۶).

وزن تر ساقه‌چه در تیمار ۲۰ و ۳۰ Gy به‌ترتیب ۰٫۸۷ و ۰٫۸۱ بود و نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشتند. تیمارهای ۱۰ و ۴۰ Gy با این‌که افزایش داشتند اما نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. وزن تر ریشه‌چه در تمام تیمارها در یک گروه‌بندی بودند و نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند اما با این حال وزن تر ریشه‌چه در تیمارها بیش‌تر از شاهد بودند و شاخص وزن خشک نیز از روند مشابهی برخوردار بود (جدول ۶). صمدی گرجی و همکاران در پژوهشی ارتفاع کلزا را با پرتودهی بذور در دز ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ Gy افزایش دادند [۱۴].

۳.۴.۳ کاهو

میانگین مربعات طول ساقه‌چه در تیمارهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ Gy نشان داد هر چهار تیمار پرتودیده نسبت به شاهد افزایش داشته و اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند. طول ریشه‌چه در تیمارها با بالا رفتن دز پرتودهی طول ساقه‌چه نیز افزایش یافت؛ به‌طوری‌که در تیمارهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ Gy، هر کدام به‌ترتیب ۱٫۲، ۱٫۴، ۱٫۶ و ۱٫۵ برابر نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشتند (جدول ۶).

میانگین وزن تر ساقه‌چه نشان داد با افزایش دز پرتودهی، وزن تر ساقه‌چه نیز افزایش یافته اما در تیمارهای ۱۰ و ۲۰ Gy، این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار نیست. تیمارهای ۳۰ و ۴۰ Gy به‌ترتیب ۱/۴ و ۱/۳ برابر نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشتند. وزن تر ریشه‌چه در تیمار ۱۰ Gy معادل ۰/۱۷ گرم بوده و نسبت به شاهد ۱/۴ برابر افزایش معنی‌دار داشت (جدول ۶).

وزن خشک ساقه‌چه در تیمارهای تحت پرتو گاما نشان داد، در هر چهار دز اعمال شده، نسبت به شاهد افزایش داشتند اما در تیمارهای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ Gy این تفاوت به لحاظ آماری معنی‌دار نیست. تیمار ۱۰ Gy با ۰/۰۱۶ گرم وزن خشک ساقه چه نسبت به شاهد ۲/۳ برابر افزایش معنی‌دار داشت. وزن خشک ریشه‌چه در تیمار ۱۰ Gy معادل ۰/۰۰۷ نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشت (جدول ۶). علیزاده و همکاران با پرتودهی با دزهای مختلف پرتو گاما باعث بالا رفتن جوانه‌زنی بذر گونه‌های Bromus tomentellus و Agropyron elongatum شدند [۱۵].

۴.۴.۳ پیاز

طول ریشه‌چه در گیاهچه‌های تحت تیمار پرتودهی با افزایش دز بالا رفت. به‌طوری‌که طول ساقه‌چه در شاهد ۳/۰۶ و در تیمار ۴۰ Gy، ۴/۰۰ cm بود. طول ساقه‌چه گیاهچه‌های شاهد (۵/۶۵) کم‌ترین طول بود و در تیمارهای دیگر با افزایش دز، طول ساقه‌چه نیز بالا رفت (جدول ۶).

وزن تر ساقه در تیمار شاهد ۰/۱۶ گرم و در تیمار ۳۰ Gy تا ۰/۵۴ افزایش یافت. وزن تر ریشه‌چه در تیمار شاهد ۰/۰۲ گرم بود در حالی‌که در تیمار پرتودهی با ۳۰ Gy به ۰/۱ گرم رسید (جدول ۶). وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه از روند افزایشی برخوردار بوده‌اند (جدول ۶). این نتایج نشان داد هر چند اعمال دزهای پایین پرتو گاما بر بذرهای پیاز اثر مطلوبی بر درصد جوانه‌زنی نداشتند، اما گیاهچه‌های حاصل از این بذرها از بنیه بالاتری برخوردار بوده‌اند. بهمنی و همکاران نیز نشان دادند که دز ۱۰۰ Gy در بذرهای گیاه لگجی باعث بالا رفتن درصد جوانه‌زنی و ویژگی‌های ریخت‌شناسی می‌شود [۱۶].

۴. نتیجه‌گیری

نتایج کلی این پژوهش نشان داد که پیش‌تیمار با تیمارهای فیزیکی (مانند پرتودهی با دزهای مختلف پرتو گاما) برای برخی گیاهان که به‌صورت نشاء تولید می‌شوند (مانند گوجه فرنگی) در دزهای ۲۰ یا ۳۰ Gy کاملاً مشهود و قابل استفاده است. اما برای گیاهانی مانند پیاز و لوبیا از چنین تیمارهایی نباید استفاده کرد. سایر روش‌های پیش‌تیمار مانند تیمار با انواع میکروارگانیسم‌های قارچی و باکتریایی برای چنین گیاهانی می‌تواند قابل توصیه باشد. هم‌چنین در بیش‌تر سبزیجات (خیار، گوجه‌فرنگی و کاهو) اعمال چنین تیمارهایی برای افزایش جوانه‌زنی هم‌زمان بذور و افزایش بنیه گیاهچه‌ها و افزایش مقاومت به بیماری‌های اندمیک خاکزادی که به بوته-میری منجر می‌شوند، راهگشاست و می‌توان این پژوهش را در شرایط گلخانه‌ای آلوده به چنین بیمارگرهایی آزمود. در بین گروه‌های گیاهی مورد بررسی، بهترین واکنش مربوط به سبزیجات بود که از بذرهای سبک و ریز و با پوسته نازک‌تر برخوردار بودند. هر چند برخی بذرها مانند نخود نیز واکنش مثبتی به دزهای پایین پرتو گاما نشان دادند.

تشکر و قدردانی

این مقاله در قالب بخشی از پروژه "تولید مواد بیولوژیک به‌منظور کنترل عوامل بیماری‌زای گیاهی خاکزاد- PRC-A۳-۹۶-۰۰۲" انجام شده و نویسندگان از همکاران گروه زراعت و اصلاح نباتات- دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج- جناب آقای دکتر توحیدلو و دکتر حبیبی که در انجام این مطالعه ما را یاری داده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

مراجع

1. T. Charbaji, I. Nabulsi, *Effect of low doses of gamma irradiation on in vitro growth of grapevine*, Plant Cell Tissue and Organ Culture, **57**, 129–132 (1999).
2. C.B. Thapa, *Effect of acute exposure of gamma rays on seed germination and seedling growth of Pinus kesiya Gord and P. wallichiana*, Our Nature, **2**, 13-17 (2004).
3. V. Micco, et al. *Effects of sparsely and densely ionizing radiation on plants*, Radiation and Environmental Biophysics, **50,** 1–19 (2011).
4. Kranner, et al., *Extracellular production of reactive oxygen species during seed germination and early seedling growth in Pisum sativum*, Journal of Plant Physiology, **167**, 805-811 (2010).
5. O. Blokhina, E. Virolainen, K.V. Fagerstedt, *Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review*, Annals of Botany, **91**, 179-194 (2002).
6. T. Maruta, et al. *Arabidopsis NADPH oxidases, AtrbohD and AtrbohF, are essential for jasmonic acid-induced expression of genes regulated by MYC2 transcription factor*, Plant Science, **180**, 655-660 (2011).
7. A.G. Taylor, et al. *Seed enhancements*, Seed Science Research, **8**, 245-256 (1998).
8. A.A. Khan, A. Anwar, *Preplant physiological seed conditioning*, Horticultural reviews, **13** (1), 131-181 (1992).
9. J.O. Rawling, D.D.G. Hanway, C.O. Gardner, *Variation in quantitative characters of soy bean after seed irradiation*, Agr. J., **50**, 524-528 (1958).
10. ISTA. International rules for seed testing, The International seed testing Association (2010).
11. H.R. Moussa, *Role of gamma irradiation in regulation of NO_3 level in rocket (Eruca vesicaria subsp. sativa) plants*. Russ J Plant Physiol, **53**, 193–197 (2006).
12. M. Melki, T.H. Dahmani, *Gamma irradiation effects on durum wheat (Triticum durum Desf.) under various conditions*. Pakistan Journal of Biological Sciences, **12**, 23 (2009).
13. M. Samadi, et al. *Evaluation of agronomic traits of mutants induced by gamma irradiation in PF and RGS003 varieties of rapeseed (Brassica napus L.)*, Crop Plants Breeding, **15**, 135-144 (2015) (In Persian).
14. J.L. Molina-Cano, *et al. Fast-germinating low β-glucan mutants induced in barley with improved malting quality and yield. Theoret. Appl.* Genetics, **78**, 748–754 (1989).
15. Q. Alizadeh, et al., *The effect of seed irradiation with low doses of gamma rays on some parameters of greenery and seedling growth of two species of Bromus tomentellus and Agropyron elongatum*, Journal of Watershed Management Research, **106** (2), 147-137 (2015) (In Persian).
16. M. Bahmani, S. Yousefi, D. Kartolinezhad. *The Effects of Gamma Radiation on Seed Germination and Vigour of Caper (Capparis spinosa var. parviflora)*, Medicinal Plant. Iranian Journal of Seed Research, **3** (1), 15-26 (2016) (In Persian).

COPYRIGHTS
©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

استناد به این مقاله
زهرا رضالو، سمیرا شهبازی، هادی فتح‌اللهی، حامد عسکری (۱۳۹۹)، تأثیر پرتودهی با پرتو گاما بر جوانه‌زنی و برخی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی گیاهچه‌های غلات، حبوبات و سبزیجات، ۹۱، ۱۷۵-۱۸۵

DOI: 10.24200/nst.2020.1107
Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1107.html