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

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

بررسی اثر پرتوهای گاما با منبع کبالت- ۶۰ بر جوانه‌زنی بذر ذرت

یاشار داودی، رضا تقی‌زاده*

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آستارا، صندوق پستی: ۱۱۴۱، آستارا ـ ایران

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۲/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۶/۱۶

چکیده

این آزمایش به‌منظور بررسی اثر پرتوهای گاما بر جوانه‌زنی بذر ارقام ذرت، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در مجتمع پژوهشی البرز- پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای به اجرا درآمد. فاکتور اول شامل ۴ ژنوتیپ ذرت (AR64، دهقان ۴۰۰، فجر ۲۶۰ و ۷۰۴) و فاکتور دوم دز پرتو گاما در هشت سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ گری) بود. در این بررسی صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول کلئوپتیل، تعداد ریشه، شاخص بنیه بذر، متوسط زمان جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اختلاف بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر کلیه صفات، اختلاف بین سطوح پرتو گاما و هم‌چنین اثر متقابل ژنوتیپ × دز گاما، به‌جز درصد جوانه‌زنی از نظر کلیه صفات معنی‌داری بود. ژنوتیپ ۷۰۴ با میانگین ۹۲/۵ درصد بیش‌ترین و ژنوتیپ‌های دهقان ۴۰۰ و فجر ۲۶۰ کم‌ترین درصد جوانه‌زنی را به خود اختصاص دادند. با توجه به واکنش متفاوت ارقام مورد بررسی به دزهای پرتو گاما، دز مناسب برای رقم RA64، ۵۰ الی ۱۵۰ گری، رقم دهقان ۴۰۰، ۱۵۰ گری، رقم فجر ۲۶۰، ۱۰۰ گری و رقم ۷۴۰، ۵۰ گری خواهد بود؛ اما دزهای بالاتر از دزهای ذکر شده برای هر کدام از ارقام مذکور، بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد در بذر ذرت اثر منفی داشتند.

کلیدواژه‌ها: پرتو گاما، کبالت- ۶۰، جوانه‌زنی، ذرت

The effect of gamma radiation from Cobalt- 60 source on the seed germination of maize (*Zea mays)*

Y. Davoudi, R. Tagizadeh*

Department of Agronomy and Plant Breeding, Astara Branch, Islamic Azad University, P.O.Box: 1141, Astara - Iran

Abstract

This experiment was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications, to investigate the effect of Gamma rays on germination of maize (*Zea mays*) using the Cobalt-60 radiation therapy apparatus. The first factor consisted of 4 maize genotypes (AR64, Dehgan 400, Fajr 260 and 704) and the second factor was gamma-ray dose in eight levels (0, 50, 100, 150, 200, 300, 400 and 500 Gy). In this study, traits such as root length, stem length, coleoptile length, root number, vigor index, mean germination time and germination percentage were evaluated. The results showed that the differences between genotypes for all traits, the difference between gamma-ray levels and the interaction between genotype and gamma-ray doses factor were significant for all traits except for germination percentage. Genotype 704 with the highest mean of 92.5% and genotypes of Dehgan 400 and Fajr 260 had the lowest germination percentage. Regarding the different reaction of the cultivars to gamma-ray doses, the appropriate dose for RA64 is 100-150 Gy, for Dehgan 400 is 150 Gy, for Fajr 260 is 100 Gy and 704 is 50 Gy. However, doses higher than the values indicated for each of the cultivars had a negative effect on maize seed germination characteristics and growth.

Keywords: Gamma radiation, Cobalt- 60, Germination, Maize

*Email: r.taghizadeh@iau-astara.ac.ir

۱. مقدمه

ذرت نسبت به اکثر محصولات زراعی دیگر در طیف وسیع‌تری از ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی، تحت شرایط دمایی از سرد تا بسیار گرم، در مناطق مرطوب تا نیمه‌خشک و در بسیاری از انواع مختلف خاک رشد می‌کند و یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در جهان است و همراه با برنج و گندم، حداقل ۳۰ درصد از کالری غذایی بیش از ۴/۵ میلیارد نفر را در ۹۴ کشور در حال توسعه فراهم می‌کند [۱].

جوانه‌زنی دانه بخش حساسی از مراحل نمو گیاهی است. در بعضی از گونه‌ها بذرها هم‌زمان شروع به جوانه‌زنی می‌کنند، اما در برخی گونه‌های دیگر سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. عواملی مثل اندازه بذر، پوسته دانه، زیست‌پذیری، میزان کشت دانه در عمق خاک، رطوبت خاک، غلظت اکسیژن، دما و ژنتیک دانه بر جوانه‌زنی و توان گیاهچه‌ها در رشد مؤثر می‌باشند [۲]. یکی از روش‌های شناخته‌شده برای افزایش قدرت، سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی سبز کردن پیش تیمار بذر است [۳]. از گروه تیمارهای بیوفیزیکی می‌توان به روش‌هایی هم‌چون تیمار با میدان‌های الکتریکی، مغناطیسی و الکترومغناطیسی، تیمار با پرتوهای مختلف نظیر گاما، ایکس، UV، فرکانس‌های فراصوتی، یونیزه و لیزر اشاره کرد [۴].

استفاده از پرتوتابی به‌عنوان یک روش تمیز و بدون اثرات نامطلوب بر روی خصوصیات کیفی مواد غذایی در امریکا و بیش از ۲۰ کشور دیگر از جمله آرژانتین، بلژیک، برزیل، کانادا، چین، دانمارک، فنلاند، فرانسه، مجارستان، اندونزی، فلسطین اشغالی، مکزیک، هلند، نروژ، کره‌جنوبی، آفریقای جنوبی و انگلستان در ابعاد تجاری مرسوم است [۵]. یکی از روش‌هایی که با صرف هزینه انرژی کم می‌تواند سبب افزایش محصول و سایر موارد شود، پرتودهی است [۶]. پرتو گاما به‌عنوان یک پرتو یونیزان با ایجاد تغییرات سیتولوژی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در سلول‌ها و بافت از طریق تولید رادیکال‌های آزاد در سلول بر رشد و نمو گیاه اثر می‌گذارد [۷-۹]. دزهای بالای پرتو گاما اثرات بازدارنده دارند در حالی‌که دزهای پایین‌تر ممکن است تحریک‌کننده باشند [۱۰، ۱۱]. در حقیقت، دزهای پایین پرتو گاما باعث افزایش تکثیر سلولی، جوانه‌زنی، رشد سلولی، فعالیت آنزیمی، مقاومت در برابر استرس، و بازدهی محصول می‌شود [۱۲-۱۶].

جاواردینا و پیریس [۱۷] بیان کردند که در حال حاضر، پرتو گاما یکی از مهم‌ترین تیمارهای فیزیکی جهت افزایش محصولات در گیاهانی مانند برنج، ذرت، لوبیا، لوبیا چشم‌بلبلی و سیب‌زمینی می‌باشد. هم‌چنین، پرتو گاما برای استرلیزاسیون و محافظت دانه‌های غلات در کشاورزی و تغذیه سودمند است [۱۸]. مطالعه اثرات پرتو گاما بر خصوصیات کمی و کیفی برنج مشخص ساخت که دز پرتو تا حدی باعث بهبود صفات رویشی می‌گردد اما با افزایش میزان دز، روند کاهشی در صفات مورد مطالعه مشاهده می‌گردد [۱۹]. هم‌چنین مستقل‌بودن جوانه‌زنی بذور نخود از تیمارهای مختلف پرتو گاما توسط مولینا و همکاران [۶] بیان گردیده است.

ویندل و همکاران [۲۰] نشان دادند که در گوجه‌فرنگی دزهای پایین پرتو گاما با منبع کبالت- ۶۰ باعث تحریک جوانه‌زنی و در واقع تعداد میوه و تولید کل تا ۸۶ درصد در ۱۰ گری می‌شود.

لاله و همکاران [۲۱] در تحقیقی برهم‌کنش تنش شوری و پرتو گاما بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گلرنگ را مورد ارزیابی قرار دادند و گزارش کردند که دزهای کم‌تر از ۲۰۰ گری در گلرنگ توانایی تولید گیاه مقاوم به شوری را دارند. پالوانه و همکاران [۲۲] در بررسی اثر پرتو گاما بر جوانه‌زنی گرده‌ها و جنین‌زایی هاپلوئید بکرزا در گل‌محمدی به این نتیجه رسیدند که تعداد کلروپلاست سلول‌های روزنه در تیمار ۲۵۰ گری بیش‌ترین میزان تولید گیاهان هاپلوئید را داشت. صبوری‌راد و همکاران [۲۳] به‌منظور ارزیابی رفتار جوانه‌زنی بذر کوشیا مطالعه‌ای با کاربرد واحدهای مختلف پرتو گاما و سطوح مختلف تنش شوری انجام دادند و گزارش کردند که سطوح مختلف تنش شوری و واحد پرتو گاما بر درصد جوانه‌زنی نهایی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه تأثیر معنی‌دار داشت. در شرایط عدم‌تنش شوری، بذور شاهد (پرتو ندیده) بالاترین صفات جوانه‌زنی مذکور را به خود اختصاص داده بودند. هم‌چنین با افزایش سطح تنش شوری به میزان ۱۰ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر، استفاده از دز پرتو گاما ۵۰ گری و در سطح شوری ۳۰ دسی زیمنس بر متر کاربرد دز پرتو گاما ۲۰۰ گری سبب افزایش

صفات جوانه‌زنی شد. هم‌چنین بیان داشتند در مجموع کاربرد پرتو گاما در شرایط شوری می‌تواند در افزایش قابلیت جوانه‌زنی بذور کوشیا مؤثر باشد. پیرزاد و همکاران [۲۴] به‌منظور ارزیابی اثر تابش سطوح گاما پیش از جوانه‌زنی بذر و مقادیر نیتروژن بر رشد و عملکرد دارویی بابونه آلمانی آزمایشی را انجام دادند و گزارش کردند که با وجود اثر متقابل بین گاما و نیتروژن بر عملکرد اسانس، به‌دلیل عدم معنادار بودن بر درصد اسانس، مقایسه میانگین‌ها اختلاف معناداری بین ترکیبات تیماری نشان نداد.

در این پژوهش هدف به‌دست آوردن میزان دز لازم برای به حداکثر رساندن سرعت جوانه‌زنی بذور ذرت مورد ارزیابی می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۴ در مجتمع پژوهشی کرج- پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای واقع در استان کرج انتهای رجایی‌شهر- بلوار شهید مؤذن- بلوار انرژی اتمی به اجرا درآمد. در این پژوهش اثر پرتو گاما با منشأ کبالت- ۶۰ بر روی ۴ رقم ذرت با استفاده از دستگاه گاماسل با منبع کبالت- ۶۰ و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار مطالعه گردید. در این پژوهش فاکتور اول شامل ژنوتیپ در ۴ سطح (AR۶۴؛ دهقان ۴۰۰؛ فجر ۲۶۰ و ۷۰۴) و فاکتور دوم سطوح دز پرتو گاما در هشت سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ گری) می‌باشد.

بذرها در هشت گروه با دز صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ گری تحت تابش قرار گرفت، سپس از هر گروه تعداد ۷۵ بذر شمارش و در زیر دستگاه لامینار فلو یک‌بار با استفاده از الکل ۷۰٪ (۳۰ ثانیه) و یک‌بار با آب ژاول ۵٪ (۷ دقیقه) استریل گردید. بعد از شستشوی کامل بذرهای استریل شده (با آب مقطر استریل) آن‌ها را به داخل پتری دیش استریل با قطر ۷/۵ سانتی‌متر (۲۵ بذر در هر پتری دیش) انتقال داده و سپس روی بذرها با کاغذ صافی استریل پوشانده و سپس ۶ میلی‌لیتر آب مقطر استریل جهت مرطوب نگه‌داشتن بذرها به داخل پتری دیش‌ها ریخته شد. دور پتری دیش‌ها با پارافیلم پوشانیده شده و به داخل انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد منتقل گردید.

شمارش روزانه تعداد بذرهای جوانه‌زده به مدت ۷ روز در یک زمان مشخص انجام گرفت. بذرهایی که طول ریشه‌چه آن‌ها بیش از ۲ میلی‌متر بود به‌عنوان بذرهای جوانه‌زده شمارش شدند. در روز آخر تعداد صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول کلئوپتیل، تعداد ریشه اندازه‌گیری شدند.

شاخص بنیه بذر [۲۵] و از رابطه ۱، درصد جوانه‌زنی نهایی [۲۶] از رابطه ۲، متوسط زمان جوانه‌زنی [۲۶] از رابطه ۳ محاسبه گردید:

(۱) شاخص بنیه بذر = درصد جوانه‌زنی نهایی × طول گیاهچه ×۱۰۰

$$FGP = \frac{Ng}{Nt} \times ۱۰۰ \quad (۲)$$

$$MGT = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i t_i}{\sum_{i=1}^{k} n_i} \quad (۳)$$

که در روابط ۲ و ۳، Ng: تعداد کل بذور جوانه‌زده و Nt: تعداد کل بذور مورد ارزیابی؛ i: شمارش iام (در این آزمایش روز iام)، n_i: تعداد بذرهای جوانه‌زده در شمارش iام و t_i: تعداد روز تا شمارش iام می‌باشد.

قبل از تجزیه داده‌ها، فرضیات تجزیه واریانس (مانند نرمال بودن توزیع داده‌ها) مورد آزمون قرار گرفت. برای صفاتی که اثر متقابل دز پرتو گاما و رقم معنی‌دار بود با توجه به این‌که معرفی ترکیب تیماری مفهومی نداشت، برش‌دهی فیزیکی [۲۷] برای سطوح پرتو گاما در هر سطح رقم انجام و مقایسه میانگین براساس آن انجام و دز مناسب برای هر رقم به‌طور جداگانه بررسی شد. مقایسات میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح آماری ۵٪ انجام شد. برای انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار SAS ۹/۳ و جهت رسم نمودار از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

۳. یافته‌ها

بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر کلیه صفات و بین سطوح فاکتور دز پرتو گاما به‌جز درصد جوانه‌زنی از نظر کلیه صفات اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. هم‌چنین اثر متقابل فاکتور ژنوتیپ × دز پرتو گاما به‌جز تعداد ریشه و درصد جوانه‌زنی از نظر کلیه صفات معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		طول ریشه‌چه	طول ساقه چه	طول کلوپتیل	تعداد ریشه	وزن‌تر ریشه	شاخص طولی بنیه بذر	متوسط زمان جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی
ژنوتیپ	۳	۱۵٫۲۲۷**	۴٫۷۴۴**	۱۶۷٫۲۹۷**	۰٫۵۸۶**	۲٫۴۳۱**	۹۱٫۹۳۷**	۷٫۱۱۹**	۵۶۲۳٫۲۶۴**
پرتو گاما	۷	۱۹٫۵۷۲**	۱۱٫۵۲۴**	۶۴۵٫۴۸۱**	۲۷٫۲۸۰**	۷٫۱۸۶**	۳۸٫۴۵۸**	۵٫۴۵۲**	۵۸٫۱۸۵ ns
ژنوتیپ × پرتو گاما	۲۱	۵٫۸۸۲**	۲٫۵۷۴**	۵۸٫۲۲۱**	۰٫۲۰۳ ns	۰٫۲۵۲**	۱۷٫۸۵**	۰٫۴۸۸*	۳۸۰٫۴۰۷ ns
اشتباه آزمایشی	۶۴	۰٫۳۴۱	۰٫۳۷۱	۳٫۲۵۶	۰٫۱۱۹	۰٫۰۲۳	۱٫۲۸۱	۰٫۲۸۱	۴۰۵٫۲۰۸
ضریب تغییرات٪		۱۷٫۸۹	۲۴٫۷۳	۷٫۷۲	۱۰٫۷۰	۷٫۷۸	۲۶٫۱۲	۱۳٫۶۶	۲۸٫۰۵

** ،* و ns= به‌ترتیب، معنی‌داری در سطح احتمال ٪۱ و ٪۵ و غیر معنی‌دار را نشان می‌دهد.

۱.۳ طول ریشه‌چه

در این تحقیق با افزایش میزان دز مصرفی نسبت به شاهد، طول ریشه‌چه افزایش معنی‌داری داشت ولی در سطوح بالاتر پرتو کاهش معنی‌دار در طول ریشه‌چه مشاهده گردید (جدول ۲). به‌نحوی‌که در رقم RA۶۴، ۱۰۰ الی ۲۰۰ گری، در رقم دهقان ۱۵۰ گری، در رقم فجر ۲۶۰، ۱۵۰ الی ۲۰۰ گری و در رقم ۷۴۰، ۵۰ گری بالاترین طول ریشه‌چه مشاهده گردید. اعمال دزهای بالاتر در هرکدام از این ارقام به کاهش طول ریشه‌چه منجر شد (جدول ۲).

۲.۳ طول ساقه‌چه

نتایج نشان داد که با افزایش میزان دز پرتو گاما، طول ساقه‌چه نیز نسبت به شاهد افزایش ولی از یک میزان به بعد باعث کاهش معنی‌داری طول ساقه‌چه شد. در رقم RA۶۴، ۰ الی ۱۵۰ گری، رقم فجر ۲۶۰، ۱۰۰ گری و رقم ۷۰۴، ۵۰ گری بیش‌ترین طول ساقه‌چه را داشت؛ اما طول ساقه‌چه رقم دهقان ۴۰۰ تحت تأثیر تغییر سطوح دز پرتو مورد بررسی قرار نگرفت (جدول ۲).

۳.۳ طول کلئوپتیل

با افزایش میزان دز پرتو گاما، طول کلئوپتیل نیز نسبت به شاهد افزایش ولی از یک میزان به بعد باعث کاهش معنی‌داری طول کلئوپتیل شد. در رقم RA۶۴، ۵۰ الی ۲۰۰ گری، در رقم دهقان ۴۰۰، ۱۵۰ گری، در رقم فجر ۲۶۰، ۱۰۰ گری و در رقم ۷۴۰، ۵۰ الی ۱۰۰ گری بالاترین طول کلئوپتیل مشاهده گردید (جدول ۲).

۴.۳ تعداد ریشه

بیش‌ترین تعداد ریشه در رقم فجر ۲۶۰ مشاهده شد و بقیه ارقام بدون اختلاف معنی‌دار با هم در رتبه دوم قرار گرفتند (شکل ۱). هم‌چنین بیش‌ترین تعداد ریشه متعلق به دزهای ۵۰ الی ۱۵۰ گری بود (شکل ۲).

۵.۳ شاخص بنیه بذر

شاخص بنیه بذر برای رقم RA۶۴، در دز پرتو ۰ الی ۱۵۰ و ۳۰۰ الی ۴۰۰ گری، در رقم فجر ۰ الی ۱۰۰ و ۲۰۰ گری و در رقم ۷۴۰، ۵۰ گری بالاترین مقدار را داشت (جدول ۲).

۶.۳ متوسط زمان جوانه‌زنی

در رقم RA۶۴ دزهای ۵۰ الی ۳۰۰، دهقان ۴۰۰ دزهای ۵۰ الی ۲۰۰ گری، فجر ۲۶۰ دزهای ۱۰۰ الی ۲۰۰، رقم ۷۰۴ دزهای ۵۰ الی ۲۰۰ گری از پایین‌ترین متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی برخوردار بودند (جدول ۲).

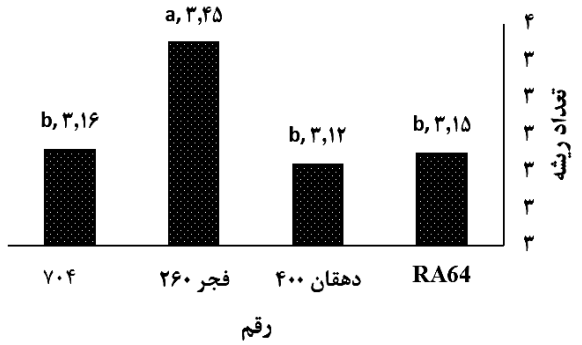
۷.۳ درصد جوانه‌زنی

اعمال و تغییر دز پرتو گاما بر در صد جوانه‌زنی تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). ژنوتیپ ۷۰۴ با میانگین ۹۲/۵ درصد بیش ترین درصد جوانه‌زنی را داشت و ژنوتیپ‌های دهقان ۴۰۰ و فجر ۲۶۰ به‌ترتیب با میانگین‌های ۶۰ درصد پایین‌ترین درصد جوانه‌زنی را به خود اختصاص دادند (شکل ۳).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر دو جانبه ژنوتیپ × سطوح دز مصرفی کبالت-۶۰

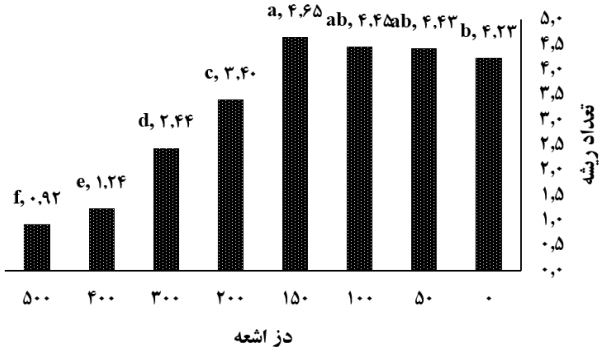
رقم	دز پرتو (Gy)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	طول ساقه چه (سانتی‌متر)	طول کلوپتیل (سانتی‌متر)	شاخص بنیه بذر	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز)
RA۶۴	۰	۳٫۰۸a	۳٫۱۵ab	۲۶٫۵۰b	۳٫۸۴abc	۴٫۴۷abc
	۵۰	۳٫۱۲a	۳٫۷۲a	۲۸٫۲۷ab	۵٫۰۰ab	۳٫۴۱d
	۱۰۰	۳٫۶۴a	۴٫۰۹a	۳۰٫۲۰a	۵٫۱۴ab	۳٫۶۳cd
	۱۵۰	۳٫۳۶a	۳٫۸۴a	۲۷٫۸۳ab	۵٫۷۸a	۳٫۲۹d
	۲۰۰	۳٫۶۰a	۲٫۴۱bc	۲۸٫۲۳ab	۳٫۵۶bc	۳٫۹۸bcd
	۳۰۰	۲٫۷۵a	۲٫۳۰bc	۲۵٫۲۰b	۴٫۰۴abc	۳٫۱۳d
	۴۰۰	۳٫۰۷a	۱٫۷۸cd	۲۵٫۳b	۴٫۵۷ab	۴٫۸۶ab
	۵۰۰	۱٫۵۹b	۱٫۲۱d	۱۲٫۴۷c	۲٫۲۴c	۵٫۲۶a
دهقان ۴۰۰	۰	۲٫۵۶bc	۱٫۷۸a	۲۲٫۰۶c	۲٫۶۱a	۴٫۸۶ab
	۵۰	۲٫۸۲b	۱٫۸۵a	۲۳٫۵۳c	۳٫۰۰a	۴٫۰۸bcd
	۱۰۰	۳٫۲۶b	۱٫۹۴a	۳٫۰۵b	۲٫۷۰a	۳٫۸۴cd
	۱۵۰	۴٫۴۴a	۲٫۱۷a	۳۴٫۴۲a	۳٫۵۷a	۳٫۶۹d
	۲۰۰	۲٫۴۳bc	۲٫۵۳a	۲۲٫۳۳c	۲٫۹۸a	۴٫۰۴bcd
	۳۰۰	۲٫۴۴bc	۱٫۹۲a	۲۰٫۶۱c	۲٫۵۹a	۴٫۳۳abcd
	۴۰۰	۱٫۷۰cd	۱٫۸۱a	۱۵٫۶۳d	۲٫۳۱a	۴٫۶۸abc
	۵۰۰	۱٫۰۴d	۱٫۵۶a	۹٫۸۱e	۱٫۷۷a	۵٫۰۶a
فجر ۲۶۰	۰	۳٫۵۳b	۲٫۳۰bcd	۳۰٫۵۰a	۳٫۹۴ab	۴٫۵۵ab
	۵۰	۳٫۳۰b	۳٫۱۷b	۲۹٫۲۹a	۳٫۸۶ab	۴٫۰۱bc
	۱۰۰	۳٫۶۷b	۴٫۵۰a	۳۳٫۱۷a	۴٫۳۲ab	۳٫۸۷bc
	۱۵۰	۴٫۰۷ab	۱٫۸۳cde	۳۱٫۶۷a	۳٫۱۱bc	۳٫۹۲bc
	۲۰۰	۴٫۶۷a	۲٫۵۷bc	۳۰٫۱۰a	۵٫۸۳a	۳٫۱۳c
	۳۰۰	۱٫۸۰c	۱٫۱۳e	۱۹٫۷۷b	۱٫۸۵c	۴٫۲۱ab
	۴۰۰	۱٫۷۷c	۱٫۲۷de	۱۶٫۰۰c	۱٫۷۵c	۴٫۲۰ab
	۵۰۰	۱٫۴۳c	۱٫۱۷e	۱۲٫۲۰d	۱٫۵۰c	۵٫۰۶a
۷۰۴	۰	۶٫۸۱b	۴٫۵۰b	۲۶٫۶۷b	۱۱٫۳۱b	۳٫۷۹bc
	۵۰	۸٫۵۸a	۴٫۵۴a	۳۱٫۵a	۱۴٫۱۲a	۲٫۰۰e
	۱۰۰	۷٫۳۵b	۳٫۶۷b	۳۳٫۲۲a	۱۱٫۰۲b	۲٫۳۰de
	۱۵۰	۵٫۸۴c	۴٫۴۸b	۲۳٫۲۸c	۱۰٫۳۲b	۲٫۳۴de
	۲۰۰	۱٫۶۰d	۲٫۲۸c	۱۰٫۵۰f	۳٫۸۸c	۲٫۳۷de
	۳۰۰	۲٫۴۳d	۱٫۳۸cd	۱۹٫۷۸d	۳٫۵۶c	۲٫۹۶cd
	۴۰۰	۲٫۴۸d	۰٫۵۶d	۱۴٫۶۱e	۲٫۱۵cd	۳٫۹۲b
	۵۰۰	۰٫۲۶e	۰٫۳۵d	۱٫۴۶g	۰٫۴۵d	۵٫۰۵a

میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ٪۵ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم‌دیگر ندارند.



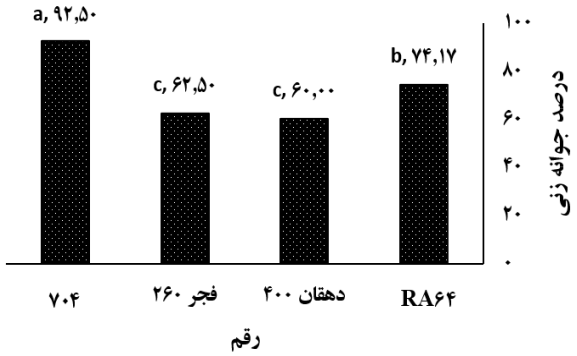
شکل ۱. میانگین ژنوتیپ‌ها برای صفت تعداد ریشه

میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ٪۵ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم‌دیگر ندارند.



شکل ۲. میانگین دزهای مورد بررسی برای صفت تعداد ریشه

میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ٪۵ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم‌دیگر ندارند.



شکل ۳. میانگین ژنوتیپ‌ها برای صفت درصد جوانه‌زنی

میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم‌دیگر ندارند.

۴. بحث

پرتو گاما با دزهای مختلف، آثار متفاوتی بر سلول‌های گیاهی دارد که بسته به ژنتیک و مقاومت متفاوت سلول‌ها نسبت به پرتو گاما، سلول‌ها پاسخ‌های گوناگونی از خود نشان می‌دهند [۲۸]. در این آزمایش نیز واکنش ارقام مورد مطالعه نسبت به تغییر دز پرتو گاما متفاوت بود. ناصریان خیابانی و همکاران [۲۹] نیز گزارش کردند که بین ارقام مورد بررسی از نظر حساسیت به پرتو گاما تفاوت وجود دارد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. از طرفی تغییر میزان دز در این آزمایش تأثیری بر درصد جوانه‌زنی نداشت. ناصریان خیابانی و همکاران [۲۹] و چیفتچی و همکاران [۶] نیز مستقل بودن درصد جوانه‌زنی بذور تحت تیمار پرتو گاما را از دزهای مختلف پرتو نشان داده‌اند. ناصریان خیابانی و همکاران [۲۹] پیشنهاد کردند که درصد جوانه‌زنی نمی‌تواند معیار مناسبی برای تعیین اثر دز پرتو گاما باشد چون اغلب بذرها پس از پرتوتابی جوانه می‌زنند اما پس از مدتی از بین می‌روند.

مطالعات متعدد اثر دزهای نسبتاً پایین پرتو گاما را بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی مثبت ارزیابی نموده‌اند [۲۰، ۲۴، ۳۰-۳۲]. پرتو گاما با دزهای نسبتاً پایین به‌علت شکسته شدن برخی از مولکول‌های بزرگ‌تر درون بذر به مولکول‌های کوچک‌تر و استفاده جنین از آن‌ها، افزایش رشد و هم‌چنین افزایش تکثیر سلولی و در نتیجه افزایش رشد و فعالیت‌های متابولیسمی، به دنبال افزایش مقدار و فعالیت برخی از آنزیم‌ها [۳۳] و افزایش احتمالی نسبت ATP به ADP، موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌گردد [۳۴]. دزهای پایین پرتو گاما موجب تغییر شبکه پیام‌رسانی هورمونی مانند افزایش در مقدار هورمون‌های کینتین، جیبرلین [۳۵] و اتیلن [۳۶] و حتی در برخی مواقع کاهش اکسین [۳۷] در سلول‌های گیاه یا افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی سلول‌ها برای تسهیل غلبه بر عوامل تنش‌زای روزانه مانند تغییر شدت نور و درجه حرارت در شرایط رشد می‌گردد [۳۸].

در این تحقیق دزهای بالای پرتو گاما باعث کاهش در مقادیر مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر ذرت شد. گزارش‌های متعددی توسط سایر محققین در خصوص نامناسب بودن دزهای بالای پرتو گاما منتشر شده است [۲۰، ۲۴، ۳۰-۳۲]. دزهای نسبتاً بالای پرتو گاما باعث القاء فعالیت آنزیمی و تجمع سوکروز و گونه‌های پروتئینی در گیاهان می‌شود [۳۶]. گزارش شده که پرتو گاما از طریق ایجاد تغییرات ساختاری، اکسیداسیون و تشکیل رادیکال‌های آزاد، مانند آنیون سوپر اکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل، مولکول‌های زیستی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۳۹].

رادیکال‌های آزاد می‌توانند از طریق ایجاد صدمات اکسیداتیو تغییرات ساختاری در پروتئین‌های محلول ایجاد کنند. پرتوتابی بذرها با دز بالای این تشعشع سنتز پروتئین و فعالیت آنزیم‌ها را نیز مختل می‌سازد [۳۹]. دزهای بالای پرتو به‌دلیل آثار مخرب بر ژنوم سلول موجب توقف چرخه سلولی در مرز G۲/M و در نتیجه توقف تقسیم سلولی و در بعضی موارد به‌دلیل یونش بسیار شدید و تخریب ماکرومولکول‌های زیستی باعث مرگ سلول و در نهایت مرگ گیاه می‌شود [۴۰].

۵. نتیجه‌گیری

براساس نتایج آزمایش، اعمال پرتو گاما تا یک دامنه باعث افزایش مؤلفه‌های جوانه‌زنی نسبت به شاهد (بدون تابش پرتو) شده و دزهای بالاتر باعث کاهش مؤلفه‌های مطلوب جوانه‌زنی می‌شود. این دامنه واکنش به تغییر دز پرتو گاما در ارقام مورد بررسی متفاوت بود؛ بنابراین، با توجه به واکنش متفاوت ارقام مورد بررسی به دزهای پرتو گاما با منشأ کبالت- ۶۰، دز مناسب برای رقم RA۶۴، ۵۰ الی ۱۵۰ گری، رقم دهقان ۴۰۰، ۱۵۰ گری، رقم فجر ۱۰۰ گری و رقم ۷۴۰، ۵۰ گری خواهد بود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از مساعدت‌ها و همکاری‌های مسئولین محترم پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای- مجتمع پژوهشی کرج تشکر می‌نمایند.

مراجع

1. B. Shiferaw et al. *Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security*. Food Security, **3** (3) 307 (2001).
2. J. Llusià, J. Peñuelas, S. Munné Bosch, *Sustained accumulation of methyl salicylate alters antioxidant protection and reduces tolerance of holm oak to heat stress.* Physiologia Plantarum, **124** (3), 353-361 (2005).
3. T. Gupta, S. Hunsigi, *Improving the performance of peppermint (Mentha piperita) by physical seed priming under semi-arid conditions.* Indian Journal of Medicinal Plants Research, (Special Issue) 15-21 (2010).
4. L.L. Chastokolenko, *Effect of magnetic fields on division of somatic cells of plants.* Cytology and genetics (USA), **5**, 18-28 (1984).
5. J. Sádecká, *Irradiation of spices—a review*. Czech Journal of Food Sciences. **25** (5), 231-242 (2007).
6. C.Y. Çiftçi, et al. *Use of gamma rays to induce mutations in four pea (Pisum sativum L.) cultivars.* Turkish Journal of Biology, **30** (1), 29-37 (2006).
7. J.E. Gunckel, A.H. Sparrow, In: *External factors affecting growth and development. Encyclopedia of plant physiology*, edited by W. Ruhland (Springer, Berlin, Germany, 1961), 555-611.
8. J.H. Kim, et al. *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 (2004).
9. S.G. Wi, et al. *Ultrastructural changes of cell organelles inArabidopsis stems after gamma irradation.* Journal of Plant Biology, **48** (2), 195-200 (2005).
10. D.S. Radhadevi, N.K. Nayar, *Gamma ray induced fruit character variations in Nendran, a variety of banana (Musa paradasiaca L.).* Geobios, **23** (2-3), 88-93 (1996).
11. R. Kumari, Y. Singh, *Effect of gamma rays and EMS on seed germination and plant survival of Pisum sativum L. and Lens culinaris.* Medicine Neo Botanica, **4** (1), 25-29 (1996).
12. T. Charbaji, I. Nabulsi, *Effect of low doses of gamma irradiation on in vitro growth of grapevine. Plant cell*, tissue and organ culture, **57** (2), 129-132 (1999).
13. M.H. Baek, et al. *Alleviation of salt stress by low dose γ-irradiation in rice.* Biologia plantarum, **49** (2), 273-276 (2005).
14. B. Chakravarty, S. Sen, *Enhancement of regeneration potential and variability by γ-irradiation in cultured cells of Scilla indica*. Biologia plantarum, **44** (2), 189-193 (2001).
15. J.S. Kim, et al. *Influence of low dose gamma radiation on the growth of maize (Zea mays L.) varieties*. Korean Journal of Environmental Agriculture, **19** (4), 328-331 (2000).
16. J.H. Kim, et al, *Effects ofin Planta gamma-irradiation on growth, photosynthesis, and antioxidative capacity of red pepper (Capsicum annuum L.) plants*. Journal of Plant Biology, **48** (1), 47-56 (2005).
17. S. Jawardena, R. Peiris, *Food crop breeding in Sri Lanks-Archivements and challenges*. Biol News, **2**, 22-34 (1988).
18. C. Mokobia, O. Anomohanran, *The effect of gamma irradiation on the germination and growth of certain Nigerian agricultural crops*. Journal of Radiological protection, **25** (2), 181-188 (2005).
19. J. Maity, et al. *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 (2005).
20. T.A. Wiendl, et al, In: *Proceedings of the International Nuclear Atlantic Conference-INAC*, (Associacao Brasileira de Energia Nuclear-ABEN, Recife, PE, Brazil, 2013).
21. S. Laleh, et al. *Short Communication: Interaction of salt stress and gamma ray on seed germination and seedling growth of safflower (Carthamus tinctorius L.).* Environmental Stresses in Crop Sciences, **6** (2), 183-188 (2014).
22. K. Palvaneh, et al. *Investigation of gamma ray effects on pollen germination and parthenogenic haploid embryogenesis in Rosa damascena Mill*. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, **21** (1), 45-55 (2013).
23. S. Sabouri Rad, et al. *Assessing the possibility of increased salinity tolerance in kochia (Kochia scoparia L.) as a new forage plant with application of gamma ray technique*. Journal of agroecology, **2** (2), 31-41 (2012) (In Persian).
24. A. Pirzad, et al. *Effect of gamma irradiation before seed germination and different levels of nitrogen on growth and yield of German chamomile.* Journal of Crops Improvement, **17** (2), 297-311 (2015) (In Persian).
25. K.S. Biradar, P. Salimath, R. Ravikumar, *Genetic variability for seedling vigour, yield and yield Components in local germplasm collections of Greengram (Vigna radiata (L.) wilczek).* Karnataka Journal of Agricultural Sciences, **20** (3), 608-609 (2007).
26. M.A. Ranal, et al. *Calculating germination measurements and organizing spreadsheets*. Brazilian Journal of Botany, **32** (4), 849-855 (2009).
27. A. Soltani, *Re-consideration of application of statistical methods in agricalture researches.* (Jihad-e-Daneshgahi Mashhad, Mashad, Iran, 2006) (In Persian).
28. B. Shojaie, A.A. Ehsanpour, M.R. Abdi, *Effects of gamma radiation on growth, total protein, viability and DNA damages in potato callus*. Iranian Journal of Biology, **23** (1), 125-131 (2010) (In Persian).

29. B. Naserian Kbiabani, et al. *Suitable gamma ray dose determination in order to induce genetic variation in kaboli chickpea (Cicer arietinum L)*. Journal of Nuclear Science and Technology, **4** (42), 19-25 (2008) (In Persian).
30. M. Hosseinpour-feizi, et al. *Evaluation of the Effects of Cobalt-60 Gamma Radiation on Budding of Triticum aestivum Seeds*. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences, **5** (1), 11-16 (2006) (In Persian).
31. R. Momeni, N. Babaeian Jelodar, N. Bagheri, *Evaluation of Effect of Gamma Rays Irradiation for Increasing of Variation in Germination and Agronomic Traits in Oilseed rape (Brassica napus L.)*. Iranian Journal of Field Crops Research, **9** (3), 331-339 (2011) (In Persian).
32. M. Bahmani, S. Yousefi, D. Kartoolinejad, *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).
33. B.Y. Chung, et al. *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 (2006).
34. A. Vasilenko, P. Sidorenko, *Alterations in adenylate ratios in plant cells after accelerated ion irradiation*. Advances in Space Research, **18** (1-2), 59-62 (1996).
35. H.R. Moussa, *Role of gamma irradiation in regulation of NO 3 level in rocket (Eruca vesicaria subsp. sativa) plants*. Russian Journal of Plant Physiology, **53** (2), 193-197 (2006).
36. T. Nagata, et al. *γ-Radiation induces leaf trichome formation in Arabidopsis*. Plant physiology, **120** (1), 113-120 (1999).
37. J. Moore, L. Hough, *The influence of gamma irradiation and photoperiod on auxin levels and growth of the strawberry plant*. Bulletin of the Torrey Botanical Club, **89**(6), 381-398 (1962).
38. S.G. Wi, et al. *Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants*. Micron, **38** (6), 553-564 (2007).
39. V.V. Kuznetsov, N. Shevyakova, *Proline under stress: biological role, metabolism, and regulation*. Russian Journal of Plant Physiology, **46** (2), 274-287 (1999).
40. R. Zaka, C. Chenal, M. Misset, *Study of external low irradiation dose effects on induction of chromosome aberrations in Pisum sativum root tip meristem*. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, **517** (1-2), 87-99 (2002).