E-ISSN: 2538-2187 | P-ISSN: 2251-7901

The Quarterly Scientific Journal of Applied Biology

https://jab.alzahra.ac.ir/

Vol. 36, No. 4 (2024) 102-115.

Paper Type: Original Article

Effect of Gamma Irradiation on Some Characteristics of Seed Germination, Seedling Parameters and Biochemical Compounds of *Satureja hortensis*

Maryam Ghannadnia[1,*], Behvar Asghari[2]

[1] *Assistant Professor, Department of Horticultural Science Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran; ghannadnia@eng.ikiu.ac.ir; ghannadnia@eng.ikiu.ac.ir.*

[2] *Associate Professor, Department of Horticultural Science Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran; ghannadnia@eng.ikiu.ac.ir.*

Citation:

Ghannadnia, M., & Asghari, B. (2024). Effect of gamma irradiation on some characteristics of seed germination, seedling parameters and biochemical compounds of *Satureja hortensis*. *The quarterly scientific journal of applied biology, 36*(4), 102-115.

Received: 19/04/2023 Accepted: 26/12/2023

Abstract

Introduction: These days, the use of the radiation process has led to a great breakthrough in plant research. Gamma rays are more effective and economical than other types of ionizing rays due to their easier access and higher penetration power. Ionizing radiations can have different effects on biological systems. Low doses of gamma radiation can have beneficial effects on the germination process and biochemical composition of plants, especially the medicinal types.

Methods: In this study, irradiation of *Satureja hortensis* seeds with different doses of gamma ray (0, 15, 30, 60, and 90 Gray) was performed at the Nuclear Agriculture Research School, Karaj, Iran. Afterward, some seed germination factors and the plants' morphological and biochemical characteristics were studied. The phytochemical content of the extracts, such as total phenol and flavonoid, were investigated using Folin-Ciocalteu and Aluminum Chloride colorimetric methods, respectively.

Results: The results showed that the highest germination percentage and the lowest seed vigor index were obtained in the 90 Gray treatment. By increasing the radiation dose up to 30 Gray, the amount of total phenol and flavonoid compounds (antioxidant molecules), as well as inhibitory properties of DPPH free radicals, raised, but the further enhancement of radiation dose, up to 90 Gray had a negative effect on the values of the mentioned factors.

Conclusion: According to the results, irradiation with a dose of 30 Gray on savory seeds can be suggested due to obtaining a useful crop for health, with maximum valuable metabolites, like phenols and flavonoids.

Keywords: Antioxidant molecules, Free radicals, Ionizing radiations, Seedling, Savory.

Corresponding Author: ghannadnia@eng.ikiu.ac.ir

فصلنامه علمی زیست‌شناسی کاربردی دانشگاه الزهرا (س)
دوره ۳۶، شماره (۴)، (۱۴۰۲)، ۱۱۵-۱۰۲
https://jab.alzahra.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

تاثیر پرتوتابی بذر با اشعه گاما بر برخی ویژگی‌های جوانه‌زنی، صفات مورفولوژیکی و ترکیبات بیوشیمیایی مرزه (*Satureja hortensis*)

مریم قنادنیا[1*]، بهور اصغری[2]

[1]استادیار، گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
[2]دانشیار، گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
نویسنده مسئول: *ghannadnia@eng.ikiu.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵

چکیده

مقدمه: امروزه استفاده از فرآیند پرتوتابی سبب تحول بزرگی در زمینه تحقیقات مربوط به گیاهان شده است. استفاده از پرتو گاما به دلیل دسترسی ساده‌تر و قدرت نفوذ بیشتر نسبت به انواع دیگر پرتوهای یونیزه کننده، موثر و اقتصادی‌تر است. اشعه‌های یونیزه کننده می‌توانند بر سیستم‌های زیستی اثرات مختلفی داشته باشند. دزهای پایین پرتو گاما می‌توانند عامل تغییرات مطلوبی بر فرایند جوانه‌زنی و ترکیبات بیوشیمیایی گیاهان به‌ویژه انواع دارویی آن‌ها باشند.

روش‌ها: در این پژوهش بذرهای گیاه دارویی مرزه با دزهای ۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ گری از اشعه گاما در پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج پرتوتابی شدند. سپس برخی فاکتورهای جوانه‌زنی دانه‌ها و همچنین ویژگی‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان بررسی گردید. محتوای فیتوشیمیایی عصاره از طریق اندازه‌گیری ترکیبات فنلی با استفاده از روش رنگ‌سنجی فولین-سیکالتیو و ترکیبات فلاونوئیدی از روش کلرید آلومینیم موردبررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: بررسی‌ها بیشترین درصد جوانه‌زنی و کمترین شاخص بنیه بذر را در دز ۹۰ گری نشان دادند. با بالا رفتن دز تابشی از صفر تا ۳۰ گری مقدار ترکیبات فنل و فلاونوئید کل (مولکول‌های آنتی‌اکسیدانتی) و همچنین خاصیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH افزایش یافته ولی افزایش بیشتر دز پرتو تا ۹۰ گری تاثیر منفی بر مقادیر فاکتورهای مذکور گذاشت.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصل، تابش دز ۳۰ گری بر بذرهای مرزه به دلیل ایجاد گیاهانی با حداکثر مقدار ترکیبات ارزشمند فنل و فلاونوئیدی، می‌تواند جهت به دست آوردن محصولی با حداکثر متابولیت‌های مفید برای سلامتی پیشنهاد شود.

کلیدواژه‌ها: مولکول‌های آنتی‌اکسیدانتی، رادیکال‌های آزاد، پرتوهای یونیزه کننده، گیاهچه، مرزه.

۱- مقدمه

امروزه کاربرد پرتوهای یونیزه کننده در علومی مانند کشاورزی، داروسازی، پزشکی و سایر فرآیندهای فناورانه موردتوجه خاصی واقع شده است [1]، [2]. درواقع استفاده از فرآیند پرتوتابی تحول بزرگی در تحقیقات مربوط به گیاهان ایجاد نموده است [3]. تحقیقات زیادی در رابطه با پرتوتابی گاما

بر گیاهان ارایه شده است که می‌توان به گیاهانی مانند گندم [4] و گیلاس زمستانی [5] و از گیاهان دارویی به‌نوعی از گل انگشتان‌های [6] و بابونه [7] اشاره کرد.

پرتو گاما به دلیل دسترسی ساده‌تر و قدرت نفوذ بیشتر نسبت به سایر انواع پرتوهای یونیزان، موثر و اقتصادی‌تر است [1]. اشعه‌های یونیزه کننده بر سیستم‌های زیستی اثر عمده داشته، برخی از فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی را در مراحل ابتدایی جذب فعال کرده و نهایتا ممکن است سبب آسیب رسیدن به آن‌ها شود [8]. برخی تحقیقات نشان داده که تابش دزهای بالا از پرتو گاما بر بذر برخی از گیاهان سبب اختلال در سنتز پروتئین، تعادل هورمونی، تبادل گازی و فعالیت آنزیمی آن‌ها شده و تغییرات مورفولوژیکی، ساختاری و عملکردی در آن‌ها به‌شدت و طول دوره پرتوتابی این اشعه بستگی دارد [9]، [10]. دزهای پایین پرتو گاما می‌تواند اثرات فیزیولوژیکی مطلوبی بر فعالیت‌هایی مانند جوانه‌زنی دانه برخی گیاهان داشته باشد [11]. جهش‌های ژنتیکی ایجادشده توسط پرتو گاما سبب ایجاد مقاومت در برابر عوامل تنش‌زا مانند سرما، شوری و بیماری‌ها می‌شود [12].

تاثیر پرتو گاما بر سلول‌ها به دو شکل مستقیم و غیرمستقیم امکان‌پذیر است. در تاثیر مستقیم به دلیل انرژی زیاد پرتو، امکان تجزیه مولکول‌های بزرگ زیستی مانند DNA و پروتئین‌ها وجود داشته و آثار ایجادشده بر سلول‌ها زیاد است. انرژی کم پرتو در روش غیرمستقیم می‌تواند سبب تجزیه آب و تولید رادیکال‌های آزاد و گونه‌های اکسیژن فعال شود که تاثیر آن‌ها بر مولکول‌های مهم داخل سلول ممکن است سبب ایجاد تغییرات ساختاری در متابولیت‌های داخل سلول و اثرات مختلف فیزیولوژیکی و اپی‌ژنتیکی گردد [13]. وجود گونه‌های اکسیژن فعال در گیاهان می‌تواند منجر به فعال شدن سیستم‌های آنتی‌اکسیدانتی و تولید مواد موثره‌ای مانند فلاونوئیدها، تانن‌ها، لیگنین‌ها، آلکالوئیدها و ترکیبات فنلی شود [14].

برخی تحقیقات اثرات پرتو گاما بر بذرها را به شکل تولید پروتئین، کلروفیل، اکسید شدن چربی‌ها، تغییر فعالیت‌های آنزیمی و همچنین انباشته شدن ترکیبات فنلی نشان داده است [15]، [16]. اثرات پرتوتابی بر گیاهان بسته به نوع گیاه، شدت و زمان پرتوتابی متفاوت است. به‌عنوان‌مثال مقدار فنل‌ها در گیاهی به نام گورگیاه (*Cymbopogon schoenanthus*) با افزایش شدت تابش اشعه گاما افزایش نشان داده است [17]. گروه بزرگ دیگری از متابولیت‌های ثانویه فلاونوئیدها هستند که خود نیز گروهی از فنل‌ها می‌باشند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های اثبات‌شده این ترکیبات محافظت سلول‌های گیاهی از تاثیر پرتو گاما می‌باشد [18]. تابش اشعه گاما با دزهای ۵، ۱۰ و ۱۵ کیلوگری تاثیری بر میزان محتوای فلاونوئیدهای گورگیاه نداشته است [17]. ولی تابش این پرتو بر گیاه آرابیدوپسیس سبب افزایش ترکیبات فلاونوئیدی و انباشته شدن آن‌ها در بخش‌های هوایی این گیاه شده است [19]. تابش شدت ۲۰ کیلوگری اشعه گاما سبب کاهش زیاد میزان فلاونوئیدها در گیاه سنجد تلخ (*Hippophae rhamnoides*) شده [20] و تابش ۱۰ الی ۳۰ گری بر مقدار فلاونوئیدهای پودر گیاهان رزماری، ریحان، شاهی آبی و کنگر فرنگی تاثیری نداشته است [21].

پرتوتابی بذر برخی گیاهان توسط اشعه گاما با دزهای نسبتا کم، سبب تجزیه برخی از درشت مولکول‌ها به اجزاء کوچک‌تر می‌شود که می‌توانند مورداستفاده جنین قرار گیرند. همچنین این پرتوها سرعت تکثیر سلولی و شدت فعالیت‌های متابولیکی را به دلیل افزایش فعالیت برخی آنزیم‌ها افزایش داده و سبب بهبود سرعت جوانه‌زنی می‌شوند [22]. نتایج مختلفی بسته به گونه گیاهی و دز مورداستفاده از اشعه گاما بر محتویات ترکیبات روغن فرار گیاهان گزارش شده است. به شکل نمونه تابش پرتو گاما با دز ۱۷/۸ KGy اثرات منفی در ترکیبات گیاهان دارویی مانند گینگو (*Ginkgo biloba*) و گوآرنا (*Paullinia cupana*) نشان نداده است [23]. برخی از تحقیقات نیز ایجاد جهش‌های ژنتیکی را در گیاه پنبه [24] و تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را در گیاه کلزا (*Brassica napus*) نشان داده است [25].

مرزه گیاهی از خانواده نعنائیان (*Lamiaceae*) است که دارویی و معطر بوده، اهمیت اقتصادی داشته و در صنایع مختلف مانند مواد خوراکی و ساخت مواد آرایشی-بهداشتی کاربرد دارد [26]. این گیاه دارای ترکیبات فعال بیولوژیکی مانند کارواکرول و تیمول است که کاربرد آن در پزشکی و داروسازی را امکان‌پذیر نموده است [27].

با توجه به اهمیت گیاهان دارویی، حساسیت مرحله جوانه‌زنی، رشد و نمو و متابولیت‌های ارزشمند آن‌ها و همچنین اثرات مطلوب پرتوتابی گاما با شدت کم بر شاخص‌های سبز شدن، رشد گیاهچه و تغییرات عوامل شیمیایی، ترکیبات ثانویه برگ گیاهان، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر پرتو اشعه گاما بر ویژگی‌های جوانه‌زنی، گیاهچه‌های حاصل از آن، فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره برگ و مقدار فنل و فلاونوئید کل عصاره برگ در انتهای مرحله رویشی گیاه مرزه انجام شد. بر اساس مطالعات انجام‌شده تاکنون مورد مشابهی انجام نشده و نتایج این تحقیق می‌تواند مقدمه‌ای جهت انجام پژوهش‌های تکمیلی باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- بررسی جوانه‌زنی بذرهای تیمار شده

این پژوهش در تیرماه سال ۱۳۹۹ با مشارکت دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) و آزمایشگاه‌های پژوهش سرای جابربن حیان ناحیه یک از اداره کل آموزش‌وپرورش استان قزوین انجام شد. بذرهای گیاه دارویی مرزه پس از خریداری از شرکت پاکان بذر اصفهان، جهت پرتوتابی به پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای کرج ارسال شد. پرتودهی بذرها با دزهای ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ گری از منبع کبالت ۶۰ با سرعت پرتوتابی ۱۰ گری در ۲ دقیقه و ۴۸ ثانیه انجام شد. نمونه‌ای از بذرها به‌عنوان شاهد (صفر گری) درنظر گرفته شدند. بذرها پس از پرتوتابی به شکل جداگانه در آزمایشگاه بیولوژی به مدت یک دقیقه با محلول ۱۰ درصد آب‌ژاول ضدعفونی و سپس ۳ مرتبه با آب مقطر شستشو شدند. آزمایشی در قالب طرح کاملا تصادفی برای تیمارهای مختلف طراحی شد. بذرها با ۴ تکرار برای هر تیمار، در داخل پتری دیش‌های با قطر ۸ سانتیمتر بر روی کاغذ صافی قرار گرفته بر روی پنبه استریل با فاصله‌های مساوی قرار داده شدند. به هر پتری مقدار ۸ میلی‌لیتر آب مقطر استریل اضافه شد. پتری‌ها ابتدا به مدت ۴۸ ساعت در اینکوباتور با دمای ۲±۲۷ °C قرار داده شده و سپس به شرایطی با روشنایی حدود ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی با میانگین دمای ۳±۲۷ °C درجه قرار داده شدند. نمونه‌ها به‌صورت روزانه در زمان ثابتی موردبررسی قرار گرفته و شمارش بذرهای جوانه‌زده تا زمانی که هیچ جوانه‌زنی انجام نشد (۱۲ روز پس از آغاز آزمایش)، ادامه یافت. درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر طبق فرمول‌های **جدول ۱** محاسبه شده و طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر و خشک گیاهچه‌ها در پایان آزمایش اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- فرمول‌های استفاده‌شده جهت محاسبه درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر مرزه تحت تاثیر پرتو گاما با دزهای مختلف.

Table 1- Formulas used to calculate germination percentage, germination rate, mean germination time and seed vigour index of *S. hortensis* under gamma ray with different doses.

Germination Characteristics	Calculation Method	Reference
Germination percentage	GP=(n/N)×100	[28]
Germination speed	GS=∑(ni /ti)	[28]
Average time of germination	MGT=∑(ni .ti) /∑ ni	[29]
Seed vigor	SVI=GP × Mean (Sl+Rl)/100	[30]

N: total number of cultivated seeds (تعداد کل بذرهای کشت‌شده) ni: number of germinations in a given time (تعداد جوانه زنی بذرها در یک فاصله زمانی)

Sl: stem length (طول ساقه‌چه) Rl: rootlet length (طول ریشه‌چه) n: number of germinations during the period (تعداد جوانه‌زنی بذرها در طول دوره)

ni: numberof days after germination (تعداد روزهای بعد از جوانه‌زنی)

۲-۲- کشت گیاهان در گلخانه جهت بررسی ترکیبات بیوشیمیایی

جهت بررسی ترکیبات بیوشیمیایی فنل کل، فلاونوئید کل و همچنین پتانسیل آنتی‌اکسیدانتی عصاره برگ‌ها در پایان فاز رویشی، بذرهای تیمار شده با پرتو گاما با دزهای ۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ گری پس از ضدعفونی در گلدان‌هایی با ابعاد ۲۰×۲۰ cm پر شده با پیت‌ماس از نوع Potgrond، Klasmann-Deilman کشت شده و در شرایط گلخانه قرار داده شدند. پس از رشد تا مرحله چهار برگی، گیاهان تا تعداد بیست عدد در هر گلدان تنک شده و اواخر فاز رویشی برداشت شدند. نمونه‌های برگی در سایه و دمای آزمایشگاه ۲۵ °C خشک شده و در ظروف شیشه‌ای در دار در محیط تاریکی جهت آزمایش‌های بعدی نگهداری شدند.

۲-۳- استخراج عصاره از برگ‌های گیاه مرزه روییده از بذرهای تیمار شده

جهت این آزمایش برگ‌های خشک و پودر شده نمونه‌های تیمار شده و آب مقطر به شکل جداگانه (به نسبت ۰/۲ گرم به ۱۰ میلی‌لیتر) مخلوط شده و به مدت ۵ دقیقه جوشانده شدند. نمونه‌ها پس از خنک شدن با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف شده و با فریز درایر خشک گردیدند. سپس نمونه‌ها به شکل پودر از ظروف جدا شده و در شیشه‌های در بسته و به‌دوراز نور جهت بررسی‌های بعدی نگهداری شدند.

۲-۴- اندازه‌گیری مقدار فنل کل در عصاره برگ‌ها

تعیین محتوای تام فنلی عصاره‌های گیاهی با استفاده از روش رنگ‌سنجی فولین-سیکالتیو انجام گردید [31]. برای این منظور به ۱۰۰ میکرولیتر محلول ۱۰ درصد حجمی از معرف فولین-سیکالتیو مقدار ۲۰ میکرولیتر از محلول نمونه با غلظت ۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۶ دقیقه در تاریکی تکان داده شد و سپس ۸۰ میکرولیتر از محلول ۷/۵ درصد سدیم کربنات به آن اضافه گردید. جذب مخلوط حاصل پس‌ازاینکه به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق باقی ماند در طول‌موج ۷۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. رسم منحنی کالیبراسیون از محلول‌های گالیک اسید با غلظت‌های مختلف، رابطه بین غلظت و جذب را در اختیار قرار داد و درنهایت نتایج مربوط به محتوای فنلی تام نمونه‌ها برحسب میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر گرم عصاره خشک (mg GAEs/g extract) بیان گردید.

۲-۵- اندازه‌گیری مقدار فلاونوئیدهای کل در عصاره برگ‌ها

برای تعیین محتوای فلاونوئیدی کل، نمونه‌های تهیه‌شده از برگ گیاه مرزه از روش کلرید آلومینیم استفاده شد [31]. به این منظور ۱۰ میکرولیتر از محلول ۵ درصد کلرید آلومینیوم به ۳۰ میکرولیتر از محلول نمونه یا محلول استاندارد کوئرستین اضافه شد و با ۶۰ میکرولیتر متانول محلول حاصل رقیق گردید. در ادامه ۱۰ میکرولیتر از محلول ۰/۵ مولار استات پتاسیم نیز به محیط اضافه شده و حجم کل واکنش با آب مقطر به ۲۰۰ میکرولیتر رسید. درنهایت جذب محلول پس از گذشت ۳۰ دقیقه در طول‌موج ٤١٥ نانومتر اندازه‌گیری شد. نتایج نهایی مربوط به محتوای فلاونوئیدی نمونه‌ها برحسب میلی‌گرم معادل روتین بر گرم عصاره (mg REs/g extract) بیان شد.

۲-۶- اندازه‌گیری پتانسیل آنتی‌اکسیدانتی عصاره برگ‌ها

پتانسیل آنتی‌اکسیدانتی نمونه‌ها از طریق اندازه‌گیری توانایی مهار رادیکال‌های آزاد ۲ و ۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) مورد ارزیابی قرار گرفت [32]. به این منظور ۲۰ میکرولیتر از محلول نمونه با غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر، با ۱۸۰ میکرولیتر از محلول DPPH با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط شد. پس از ۳۰ دقیقه کاهش رنگ محلول در ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد. محلول کنترل در این آزمایش محلولی بود که تمامی واکنش‌گرهای ذکرشده را دارا بوده و فقط به‌جای نمونه از متانول خالص در آن استفاده شده بود. درنهایت با استفاده از اختلاف جذب بین کنترل و مخلوط نمونه، درصد رادیکال‌های آزاد از بین رفته، محاسبه گردید.

۲-۷- آنالیز آماری

جهت تجزیه‌وتحلیل آماری، نمونه‌برداری و آزمون‌ها با چهار تکرار در طرح کاملا تصادفی انجام شده و جهت آنالیز واریانس از روش آنالیز آماری ANOVA، مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن (Duncan' s Test) و نرم‌افزار SPSS 16 استفاده شده و نمودارهای لازم توسط نرم‌افزار Excel رسم شدند. اختلاف‌های معنی‌دار آماری در جدول‌ها و نمودارها با حروف متفاوت مشخص شدند.

۳- نتایج و بحث

نتایج آزمون تجزیه واریانس اثرات دزهای مختلف اشعه گاما بر صفات فیزیولوژیکی جوانه‌زنی بذر و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاهچه‌های مرزه در **جدول‌های ۲** و **۳** ارایه شده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر اشعه گاما بر صفات فیزیولوژیکی جوانه‌زنی بذر گیاه مرزه.

Table 2- Results of analysis of variance of gamma ray effect on physiological characteristics of *S. hortensis* seed germination.

SOV	MS				
	Seed Vigor	Average Time of Germination	Germination Speed	Germination Percentage	df
Treatment	0.05**	1. 304^{ns}	0.25^{ns}	14.80*	4
Error	0.00	1. 08	0.31	3. 33	15
(CV)%	9. 3	18. 8	24. 3	4	

Ns غیر معنی دار، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ درصد و ۱ درصد

ns,* and **, are non-significant, significant at probability level 5% and 1% respectively

۱-۳- بررسی صفات جوانه‌زنی بذر تحت تاثیر تیمارهای پرتو گاما

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تابش دزهای مختلف اشعه گاما از بین صفات جوانه‌زنی بذرها فقط بر درصد جوانه‌زنی (در سطح ۵ درصد) و شاخص بنیه بذر (در سطح ۱ درصد) تاثیر معنی‌داری داشته است (**جدول ۲**). بیشترین درصد جوانه‌زنی در دز ۹۰ گری مشاهده شد که با دز ۱۵ گری اختلاف معنی‌داری نشان نداده و با سایر تیمارها و شاهد در سطح ۵ درصد ($p \leq 0/05$) اختلاف معنی‌داری نشان داد (**شکل ۱-a**). سرعت جوانه‌زنی بذرهای پرتودهی شده در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری را از نظر آماری نشان ندادند، اگرچه بیشترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار ۳۰ گری مشاهده شد (**شکل ۱-b**). میانگین زمان جوانه‌زنی بذرهای گیاه مرزه تحت تاثیر دزهای مختلف پرتو گاما، اختلاف معنی‌دار آماری بین تیمارها و نمونه شاهد نشان ندادند (**شکل ۱-c**). بیشترین شاخص بنیه بذر در تیمار ۱۵ گری از پرتو گاما مشاهده شد که با شاهد و سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ($p \leq 0/01$) نشان داد (**شکل ۱-d**).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر اشعه گاما بر برخی صفات مورفولوژیکی گیاهچه‌های مرزه.

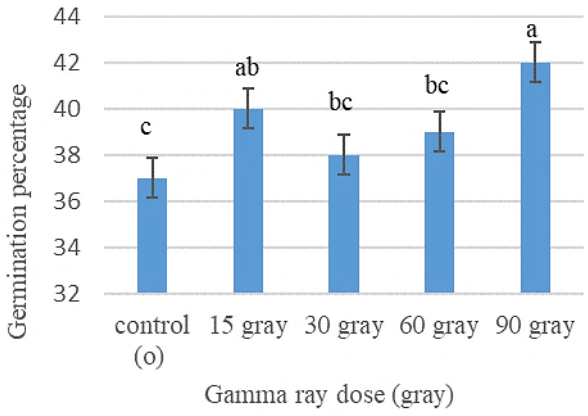
Table 3- Results of analysis of variance of gamma ray effect on some morphological characteristics of *S. hortensis* seedlings.

SOV	MS				
	Seedling Dry Weight	Seedling Fresh Weight	Length of Rootlet	Length of Stemlet	df
Treatment	0.007*	0.95 ns	0.16 ns	0.71**	4
Error	0.001	0.83	0.19	0.12	15
(CV)%	6.50	11. 5	12.7	18.3	

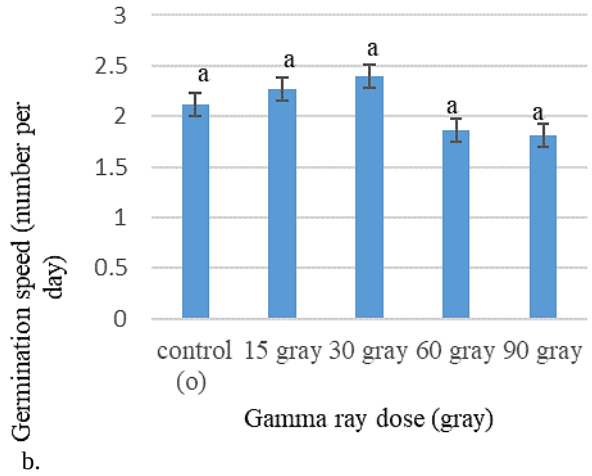
ns غیر معنی‌دار، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ درصد و ۱ درصد

ns,* and **, are non-significant, significant at probability level 5% and 1% respectively

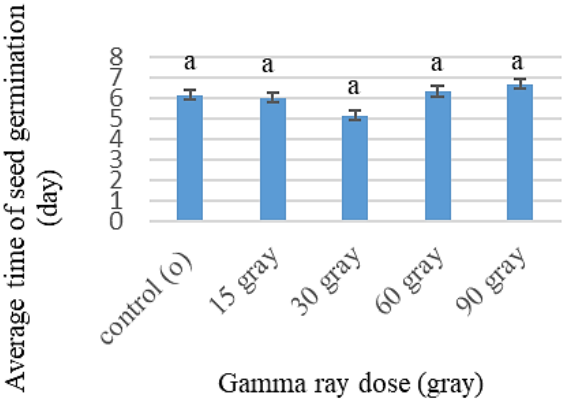
جوانه‌زنی اولین مرحله نموی در گیاه بوده و یکی از مراحل حساس و مهم در چرخه زندگی گیاهان و همچنین یک فرآیند کلیدی در روییدن گیاهچه است [33]. نتایج بسیاری از تحقیقات نشان داده که با استفاده از تیمارهای مختلف می‌توان قدرت بذر در جوانه‌زنی سریع‌تر، ظهور یکنواخت و استقرار گیاهچه‌های قوی با فاز رشدی یکسان را به دست آورد [34]. نتایج درصد جوانه‌زنی در این تحقیق با نتایج برخی از مطالعات قبلی که بر روی گیاه لگجی (*Capparis spinosa*) انجام شده بود، مطابقت نشان داد [35] که یکی از دلایل آن می‌تواند به دزهای به‌کار رفته ارتباط یابد. افزایش اندازه، تعداد سلول‌ها و نیز میزان مناسبی از تمایز آن‌ها جهت توسعه بخش‌های مختلف گیاهچه سبب رشد آن می‌شود که انرژی لازم برای این فرآیند را بنیه بذر نامند. عوامل مختلف بیرونی و درونی بر بنیه بذر موثرند که از انواع درونی می‌توان به ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی و از عوامل بیرونی به شرایط محیطی شامل رطوبت، درجه حرارت، پرتوها و ... اشاره نمود. بنیه بذر توسط عواملی مانند سرعت جوانه‌زنی و رشد و نمو گیاهچه، مقاومت در برابر عوامل محیطی و وجود گیاهچه‌های غیرطبیعی ازلحاظ ویژگی‌های ریخت‌شناسی آن‌ها تعیین می‌گردد [36]. نتایج این مطالعه تاثیر مثبت دز پایین اشعه گاما (۱۵ گری) بر بنیه بذر را نشان داد.



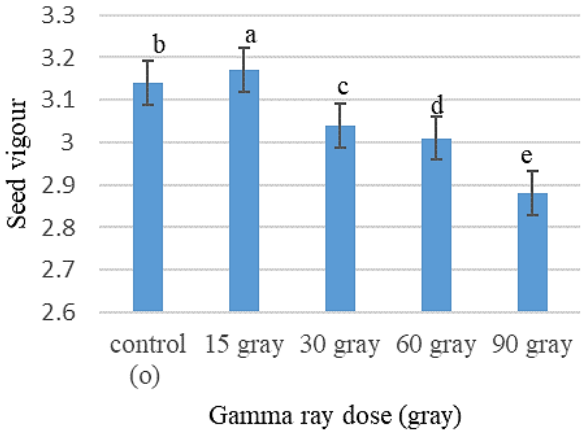
a.



b.



c.



d.

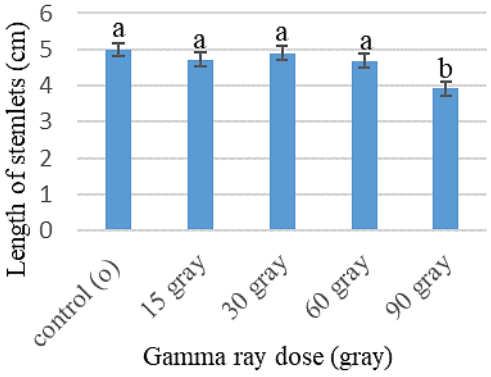
شکل ۱- مقایسه میانگین صفات جوانه‌زنی بذر گیاه مرزه تحت تاثیر تیمارهای متفاوت تابش پرتو گاما. نامتشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها.

Figure 1- Comparison of mean seed germination characteristics of S. hortensis seeds under different treatments of gamma radiation. Different letters indicate significant differences between treatments.

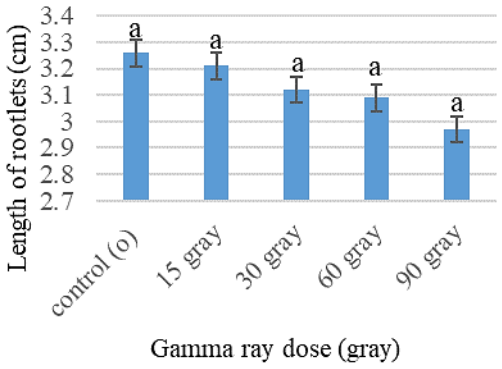
۲-۳- بررسی صفات مورفولوژیکی دانه رست‌های حاصل از جوانه‌زنی بذر تحت تاثیر تیمارهای پرتو گاما

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات مورفولوژیکی گیاهچه‌های مرزه نشان داد که دزهای اعمال‌شده اشعه گاما از بین صفات موردبررسی فقط بر طول ساقه‌چه‌های گیاهچه‌ها در سطح ۵ درصد و وزن خشک گیاهچه‌ها در سطح ۱ درصد تاثیر معنی‌داری داشته است و طول ریشه‌چه و وزن تر گیاهچه‌ها به شکل معنی‌داری تحت تاثیر تابش تیمارهای مختلف از اشعه گاما قرار نگرفته است (**جدول ۳**). بالاترین دز پرتو گاما (۹۰ گری) تاثیر منفی بر طول ساقه‌چه‌های گیاه مرزه داشته که اختلاف معنی‌داری با شاهد و سایر تیمارها در سطح ۱ درصد ($p \leq 0/01$) نشان داد (**شکل**

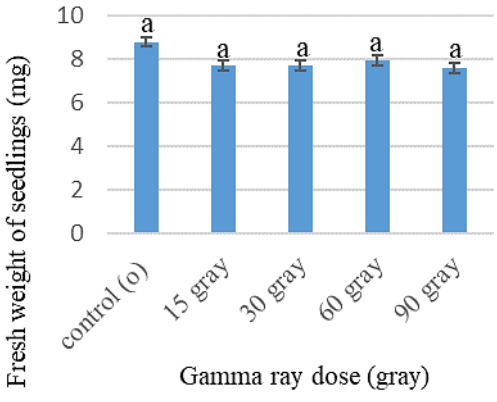
a-۲). تیمارهای مختلف پرتوگاما بر طول ریشه‌چه گیاهچه‌ها تاثیر منفی معنی‌داری ازلحاظ آماری ایجاد نکردند اگرچه کاهش تدریجی طول ریشه‌چه از شاهد تا بالاترین دوز پرتو تابشی گاما (۹۰ گری) مشاهده شد (**شکل ۲-b**). اگرچه وزن تر گیاهچه‌ها تحت تاثیر تیمارهای مختلف پرتو گاما، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و با شاهد نشان نداند (**شکل ۲-c**)، بااین‌وجود با افزایش دز پرتوتابی، کاهشی در این شاخص درنتیجه کاهش قدرت جذب آب توسط گیاهچه‌ها مشاهده گردید. بیشترین وزن خشک گیاهچه‌ها در تیمار ۹۰ گری مشاهده شد که با تیمار ۶۰ گری اختلاف معنی‌داری نداشته ولی با دو تیمار ۱۵ و ۳۰ گری و همچنین شاهد اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($p \leq 0/05$) نشان دادند (**شکل d-۲**). نتایج این مطالعه ارتباط مستقیم افزایش دز پرتوتابی با افزایش میزان وزن خشک گیاهچه‌ها را نشان داد.



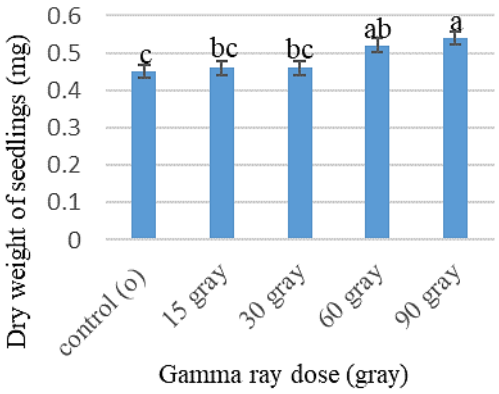
a.



b.



c.



d.

شکل ۲- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی دانه رست‌های مرزه تحت تاثیر تیمارهای متفاوت تابش پرتو گاما، حروف نامتشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.

Figure 2- Comparison of mean morphological characteristics of *S. hortensis* seedlings under different treatments of gamma radiation. Different letters indicate significant differences between treatments.

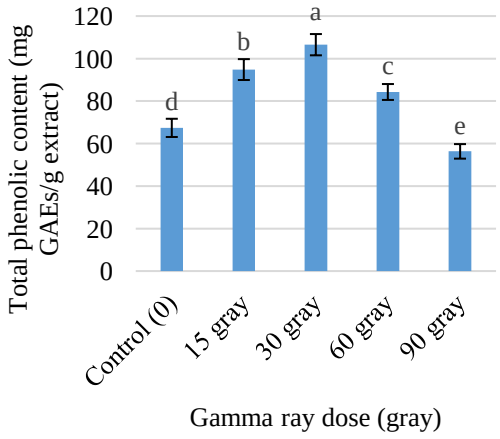
کاهش طول ساقه‌چه با افزایش دز پرتو در این مطالعه با نتایج حاصل بر روی گیاه لگجی عدم تطابق نشان داد [35]. یکی از دلایل اصلی از بین رفتن یا کاهش رشد در گیاهچه‌ها، تحت تاثیر عوامل مختلف محیطی مانند پرتوها می‌تواند به دلیل تغییرات در سطوح کروموزومی و ژنی باشد که نهایتا بر فعالیت‌های متابولیکی اثر می‌گذارد و اندازه‌گیری رشد گیاهچه‌ها یکی از بهترین گزینه‌ها جهت بررسی این موارد می‌باشد [37]. نتایج برخی مطالعات ارتباط بین افزایش در پرتو گاما و کاهش میزان هورمون‌ها به‌ویژه سیتوکینین درنتیجه تجزیه یا کاهش سنتز آن را تائید نموده است [38]. همچنین جیبرلین که یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های رشد بوده و نقش اصلی در رشد سلولی و درنتیجه افزایش طول گیاهچه را دارد می‌تواند توسط واکنش با رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل ناشی از پرتو گاما غیرفعال شده و سبب کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گردد. نتایج حاصل از تغییرات ایجادشده در طول ریشه‌چه در این پژوهش با نتیجه‌ای که در رابطه با گیاه برنج به‌دست آمده تطابق نشان می‌دهد [39].

اگرچه کاهش رشد ریشه‌چه در اثر پرتوتابی معنی‌دار نبوده ولی همین کاهش جزئی را می‌توان به توقف چرخه تقسیم سلولی در فاز G_2 متافاز در تقسیم سوماتیکی سلول‌ها و آسیب‌های واردشده به ژنوم گیاه ارتباط داد [40]. اشعه گاما می‌تواند با تولید گروه‌های اکسیژن فعال مانند رادیکال‌های سوپر اکسید، هیدروکسید و هیدروژن پراکسید که می‌توانند به‌سرعت با درشت مولکول‌های گیاه مانند چربی‌ها، پروتئین‌ها، قندها و اسیدهای نوکلئیک واکنش دهند، تنش اکسیداتیو ایجاد می‌نمایند و متابولیسم گیاه را با اختلال مواجه می‌کنند و درنهایت منجر به کاهش رشد در بخش‌های مختلف گیاه می‌شوند [43]-[41]. نتایج برخی مطالعات علمی ارتباط مستقیم بین وزن تر گیاهچه‌ها با فعالیت بیوشیمیایی و میزان پروتئین‌های میتوکندریایی و همچنین افزایش رشد و تقسیم سلولی بر اثر افزایش سنتز و فعالیت هورمون‌های اکسین و سیتوکینین را مشخص نموده است [44]. افزایش وزن خشک گیاهچه‌های روییده از بذرها تحت تاثیر دزهای ۹۰ و ۶۰ گری می‌تواند نشان‌دهنده تجمع ماده خشک بیشتر در آن‌ها نسبت به سایر تیمارها باشد. عوامل متعددی می‌توانند در تغییر وزن خشک گیاهچه‌ها و اختلاف در توان رشد اولیه آن‌ها نقش داشته باشند که می‌توان به میزان سطح برگی و فتوسنتز، تسهیم اندام‌های مختلف از مواد فتوسنتزی، مشخصات فیزیکی بذر و میزان جوانه‌زنی در واحد زمان اشاره نمود. همچنین تجزیه بیشتر و سریع‌تر آندوسپرم در اثر دزهای بالاتر، می‌تواند از دلایل دیگر افزایش وزن خشک باشند [45]. احتمال تاثیر دزهای بالا (۹۰ و ۶۰ گری) از پرتوهای گاما بر تجزیه برخی درشت مولکول‌ها و تبدیل آن‌ها به مولکول‌های ساده‌تر که بیشتر و سریع‌تر مورداستفاده جنین دانه و گیاهچه قرار می‌گیرد نیز وجود دارد. همچنین ظاهرا این دزهای پرتوتابی، سرعت تقسیم سلولی و شدت فعالیت‌های متابولیکی و فعالیت‌های آنزیمی را افزایش داده و سبب افزایش وزن خشک گیاهچه‌ها شده است [22].

۳-۳- تاثیر پرتوتابی بر مقدار فنل کل در عصاره برگ‌ها

در **شکل ۳** نتایج مربوط به مقدار محتوای تام فنلی نمونه‌های موردبررسی، نشان داده شده است. بر اساس این نتایج نمونه‌هایی که تحت تأثیر دز ۳۰ گری قرار گرفته‌اند به شکل معنی‌داری دارای محتوای فنلی بالاتری در مقایسه با سایر نمونه‌ها هستند (۱۰۶/۵۴ میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر

گرم عصاره). این در حالی است که نمونه‌های تیمار شده با دزهای ۱۵ و ۶۰ گری به ترتیب با مقادیر ۹۴/۸۳ و ۸۴/۲۸ میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر گرم عصاره در جایگاه‌های بعدی از نظر محتوای ترکیبات فنلی قرار دارند. با بررسی نتایج به‌دست آمده به‌روشنی می‌توان مشاهده کرد که همه دزهای اعمال‌شده اشعه گاما به جز ۹۰ گری به شکل قابل‌توجه و معنی‌داری در مقایسه با نمونه کنترل منجر به افزایش محتوای فنلی برگ‌های گیاه مرزه گردیده‌اند. ترکیبات شیمیایی گیاه مانند ترکیبات فلاونوئیدی، آنتوسیانینی و کارتنوئیدی سبب محافظت در مقابل بیماری‌هایی که به دلیل اثرات آنتی اکسیدانی به وجود می‌آیند، می‌شوند [46]. نتایج برخی تحقیقات نشان داده که افزایش در مقدار فنل کل جهت ویژگی‌های آنتی اکسیدانتی دانه ها ارزشمند بوده که به دلیل پلی‌مریزه شدن اجزای فنلی و همچنین تجزیه پلی‌فنل‌های آن است که واکنش‌های عمده کنترل‌کننده خواص درشت مولکول‌هایی مانند پروتئین‌ها هستند [47]. همچنین افزایش مقدار کمی از فنل کل در دانه‌های نوعی گندم با افزایش دز پرتو گاما مشاهده شده است [48]. فنل‌ها ترکیباتی هستند که سلول‌های گیاهی را در مقابل اثرات اکسیداتیو اکسیژن‌های فعال (ROS) محافظت می‌کنند [49]، [50]. از ترکیبات مهم فنلی مرزه می‌توان به کارواکرول (Carvacrol) و تیمول (Thymol) اشاره نمود [51]. کاهش ترکیبات فنلی در سلول‌های گیاهی در دزهای بالا از تابش پرتو گاما می‌تواند به دلیل کاهش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) یا جهش در ژن آن باشد [52]. افزایش در مقدار فنل در انواعی از قارچ‌ها به دنبال تابش پرتوگاما بر آن‌ها نشان‌دهنده شکسته شدن پیوندهای شیمیایی پلی‌فنل‌ها و درنتیجه آزاد شدن فنل‌های محلول با وزن مولکولی کم در آن‌ها است [53]. از جهت دیگر انباشته شدن ترکیبات فنلی در سلول‌ها می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت آنزیم PAL باشد [52].

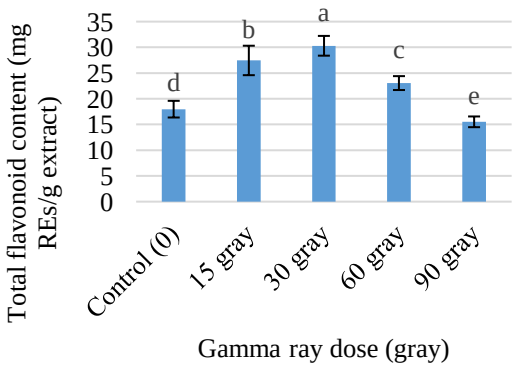


شکل ۳- محتوای تام فنلی برگ‌های مرزه تابش داده شده با اشعه گاما. حروف نامتشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.

Figure 3- The amount of total phenol in *S. hortensis* leaves treated with different treatments of gamma radiation. Different letters indicate significant differences between treatments.

۴-۳- تاثیر پرتوتابی بر مقدار فنلاونوئیدهای کل در عصاره برگ‌ها

اندازه‌گیری محتوای ترکیبات فلاونوئیدی کل عصاره‌های تهیه‌شده از برگ‌های مرزه با استفاده از معرف کلرید آلومینیم (**شکل ۴**) نشان داد که مقدار این ترکیبات از الگوی مشابهی با مقدار ترکیبات فنلی پیروی می‌کنند. به‌عبارت‌دیگر بذرهای تیمار شده با دزهای ۳۰، ۱۵ و ۶۰ گری به ترتیب با مقادیر ۳۰/۳، ۲۷/۴۵ و ۲۳/۰۵ میلی‌گرم معادل روتین بر گرم عصاره، دارای مقدار بالاتری از ترکیبات فلاونوئیدی در مقایسه با نمونه‌های کنترل (۱۷/۹۸ میلی‌گرم معادل روتین بر گرم عصاره) بودند. نتایج تحقیقات دیگری در این رابطه نشان داده که تابش پرتو گاما در آرابیدوپسیس سبب افزایش مقدار فلاونوئیدهای برگ که گروهی از فنل‌های گیاه هستند، می‌شود [54]. همچنین افزایش محتوای فلاونوئیدی در دز ۹۰ گری در گیاه (*Onobrychis viciifolia* Scop.) نشان داده شده است [55]. فلاونوئیدها ازجمله مهم‌ترین مهارکننده‌های رادیکال‌های آزاد هستند [56]. فعالیت آنزیم PAL که از آنزیم‌های موثر در سنتز فلاونوئیدها است در پاسخ به تابش گاما متاثر شده، به شکلی که فلاونوئیدها خطر القاشده توسط تنش پرتو را کاهش می‌دهند. افزایش شدت یا طول دوره تابش اشعه گاما مقدار فلاونوئید را جهت مقاومت افزایش داده ولی با افزایش بیشتر آن‌ها از حد مشخصی، فلاونوئیدهای تولیدشده نمی‌توانند اثر پرتو را کاهش دهند [57]. ترکیبات فنلی به‌ویژه فنولیک اسیدها و فلاونوئیدها جهت حفظ سلامتی بسیار مفید بوده و خطر ابتلا به بسیاری از بیماری‌های متابولیکی را کاهش می‌دهند [58].



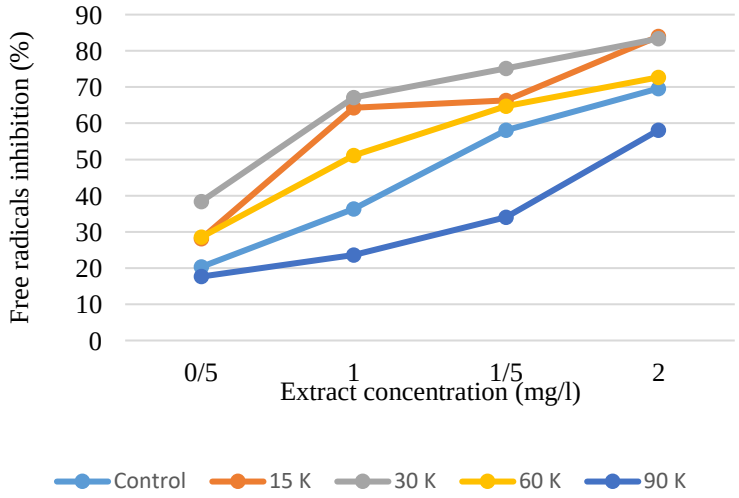
شکل ۴- محتوای کل فلاونوئیدی برگ‌های مرزه تابش داده شده با اشعه گاما. حروف نامتشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.

Figure 4- The amount of flavonoids in *S. hortensis* leaves treated with different treatments of gamma radiation. Different letters indicate significant differences between treatments.

۵-۳- تاثیر پرتوتابی بر پتانسیل آنتی‌اکسیدانتی عصاره برگ‌ها

بررسی قدرت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH با استفاده از عصاره‌های به‌دست آمده از برگ‌های مرزه تیمار شده با اشعه گاما (**شکل ۵**) نشان داد که عصاره‌های تهیه‌شده از نمونه‌های تیمار شده با دز ۳۰ گری در مقایسه با عصاره‌های دیگر در غلظت‌های مشابه اثر مهارکنندگی بالاتری داشته است. بر اساس محاسبات انجام‌شده مقدار IC_{50} این عصاره ۱/۳۳ میلی‌گرم در لیتر بود. منظور از IC_{50} مقدار غلظتی از عصاره است که بتواند ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد DPPH را از بین ببرد؛ بنابراین هر چه این غلظت پایین‌تر باشد عصاره از قدرت مهارکنندگی بالاتری برخوردار است. عصاره تهیه‌شده از برگ‌های مرزه تیمار شده با دزهای ۱۵ و ۶۰ گری نیز به ترتیب با IC_{50} معادل ۱/۸۴ و ۲/۳۷ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با عصاره برگ‌های کنترل (IC_{50} برابر ۲/۶۲ میلی‌گرم در لیتر)، قدرت آنتی‌اکسیدانتی بالاتری نشان دادند. این در حالی است که عصاره به‌دست آمده از برگ‌های تیمار شده با دز ۹۰ گری از نظر قدرت مهار رادیکال‌های DPPH در مقایسه با کنترل قدرت پایین‌تری داشت (۳/۶۹ میلی‌گرم بر لیتر). ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی به روش مهار رادیکال‌های DPPH آزمونی شناخته‌شده جهت سنجش قدرت آنتی‌اکسیدانتی ترکیبات و فرآورده‌های طبیعی گوناگون است. اساس این روش بر مبنای احیای رادیکال‌های آزاد DPPH به‌وسیله آنتی‌اکسیدانت‌ها در غیاب سایر رادیکال‌های آزاد در محیط می‌باشد. نتایج سایر تحقیقات، افزایش ظرفیت مهارکنندگی رادیکالی DPPH با افزایش دز تابش گاما را تایید نموده است [59]. شدت بالاتر از فعالیت DPPH در ارتباط با آنتی‌اکسیدانت‌های غیر آنزیمی به‌ویژه پلی‌فنل‌های گیاهی است [59]، [60]. نتایج تحقیقی نشان داد که تابش با دزهای بالاتر از ۵۰۰ گری سبب افزایش در مقادیر پلی‌فنل‌ها، فعالیت آنتی‌اکسیدانتی و همچنین فعالیت مهار رادیکال‌های DPPH در گیاهچه‌های روییده از گیاه عدس می‌شود [59]. فعالیت بازدارندگی رادیکال‌های آزاد DPPH در گیاه گندم نیز با افزایش دز تابشی پرتو گاما افزایش نشان داد [48] که با نتایج این تحقیق نیز مطابقت نشان داد.

اشعه گاما می‌تواند سبب تولید رادیکال‌های آزاد در سلول‌ها گردد که بسته به دز آن ممکن است سبب تغییر در آناتومی، بیوشیمی و فیزیولوژی گیاهان شود [19]، [61]، [62]. تابش اشعه گاما حساسیت گیاهان رویش یافته از آن‌ها را به پرتو افزایش می‌دهد که این مساله می‌تواند به دلیل کاهش مقدار تنظیم‌کننده‌های رشد درونی به‌ویژه سیتوکینین‌ها در نتیجه تجزیه شدن یا عدم سنتز این ترکیبات به دلیل پرتوتابی باشد [63]. اگرچه تاکنون توضیح واضحی برای اثرات تحریکی پرتو گاما با دز کم بر رشد و نمو گیاهان داده نشده، بر اساس فرضیه تعدادی از محققان تابش با شدت کم گاما میزان رشد را با تغییر در پیام‌رسانی شبکه هورمونی در سلول گیاهی یا از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی سلول‌ها جهت غلبه کردن بر فاکتورهای تنش‌زا مانند تغییر در شدت نور و دما در محیط کشت، تحت تاثیر قرار می‌دهد [64]. دزهای بالای گاما معمولا اثرات منفی بر ارتفاع، شکل، میزان محصول و ظرفیت تولیدمثلی گیاه داشته و دزهای کمتر اثر تحریک‌کنندگی دارند [65]. اشعه گاما می‌تواند رادیکال‌های آزاد القا کرده که این مولکول‌ها فاکتورهای استرس‌زای اکسیداتیوی قوی و خطرناک برای چربی‌ها، پروتئین‌ها و DNA در داخل سلول‌ها می‌باشند [66]، [67] به هنگام قرار گرفتن گیاهان در مقابل پرتو گاما، غلظت رادیکال‌های آزاد با افزایش مقدار جذب پرتو زیاد می‌شود [68]، [69].



شکل ۵- قدرت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH توسط برگ‌های مرزه تابش داده شده با اشعه گاما در غلظت‌های مختلف.

Figure 5- Antioxidant activity of *S. hortensis* leaves treated with different treatments of gamma radiation with DPPH.

۴- نتیجه‌گیری

درمجموع بیشترین درصد جوانه‌زنی و کمترین شاخص بنیه بذر در تیمار ۹۰ گری مشاهده شد. همچنین دانه رست‌های روییده از بذرهای تیمار شده با دز ۹۰ گری دارای بیشترین وزن خشک بودند که می‌تواند نشان‌دهنده استفاده بیشتر از مواد ذخیره‌ای بذر و یا تولید ماده خشک بیشتر توسط آن‌ها باشد. نتایج مشخص می‌سازد که استفاده از پرتوتابی گاما بر بذرهای گیاهان که البته بسته به نوع، شدت و مدت آن متفاوت خواهد بود، می‌تواند جهت افزایش درصد جوانه‌زنی، به‌ویژه در بذرهایی که دارای مشکل در جوانه‌زنی هستند، قابل‌استفاده باشد. از جهت دیگر می‌توان به این طریق گیاهانی دارای وزن خشک بیشتر تولید نمود که برای استفاده از گیاهانی که بخش رویشی آن‌ها به دلیل دارا بودن متابولیت‌های ثانویه خاص مورداستفاده است، کاربرد بیشتری خواهد داشت. با افزایش دز تابشی تا ۳۰ گری مقدار محتوای فنلی و فلاونوئیدی کل که مولکول‌های آنتی‌اکسیدانتی هستند و همچنین خاصیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH در عصاره‌های مرزه افزایش می‌یابد ولی افزایش بیشتر پرتو تا ۹۰ گری تاثیر منفی بر مقادیر فاکتورهای مذکور می‌گذارد؛ بنابراین تابش دز ۳۰ گری بر بذرهای مرزه حداکثر مقدار ترکیبات فنل و فلاونوئیدی و خاصیت مقابله با رادیکال‌های DPPH را در گیاه مرزه ایجاد کرد که ازیک‌طرف مقاومت گیاه افزایش یافته و از طرف دیگر افزایش مقدار این متابولیت‌های ارزشمند را نشان می‌دهد که در پایان فاز رویشی برای به‌دست آوردن آن می‌توان محصول را جمع‌آوری نمود. پرتو گاما می‌تواند تغییرات ژنتیکی ملایم و به شکل تدریجی را در گیاهان افزایش داده و زمینه‌های لازم جهت مهندسی متابولیکی گیاهان جهت تولید متابولیت‌های ثانویه را فراهم سازد. این موضوع در رابطه با متابولیت‌های سودمند که در شرایط طبیعی به مقدار کم در گیاه تولید می‌شوند از اهمیت خاصی برخوردار است.

سپاسگزاری

از معاونت آموزشی متوسطه اداره کل آموزش‌وپرورش استان قزوین، مسئولین محترم پژوهش‌سرای جابربن حیان، مسئولین پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج و معاونت پژوهشی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، جهت در اختیار قرار دادن برخی امکانات لازم برای انجام این پژوهش، تقدیر و تشکر می‌گردد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

منابع

[1] Moussa, H. R. (2006). Role of gamma irradiation in regulation of NO 3 level in rocket (Eruca vesicaria subsp. sativa) plants. *Russian journal of plant physiology*, *53*, 193–197. https://doi.org/10.1134/S1021443706020075

[2] Laanen, P., Cuypers, A., Saenen, E., & Horemans, N. (2023). Flowering under enhanced ionising radiation conditions and its regulation through epigenetic mechanisms. *Plant physiology and biochemistry*, *196*, 246–259. DOI:10.1016/j.plaphy.2023.01.049

[3] Khan, M. M., Din, R., Qasim, M., Jehan, S., & Iqbal, M. M. (2003). Induced mutability studies for yield and yield related characters in three wheat (Triticum aestivum L.) varieties. *Asian journal of plant sciences*, 2(17), 1183-1187. https://scialert.net/fulltext/?doi=ajps.2003.1183.1187

[4] Melki, M., & Dahmani, T. (2009). Gamma irradiation effects on durum wheat (Triticum durum Desf.) under various conditions. *Pakistan journal of biological sciences*, *12*(23), 1531–1534. DOI:10.3923/pjbs.2009.1531.1534

[5] Bhosale, R. S., & More, A. D. (2014). Effect of gamma radiation on seed germination, seedling height and seedling injury in Withania somnifera, (L.) Dunal. *International journal of life sciences*, *2*(3), 226–228. www.ijlsci.in

[6] Mahmoud, F. A. N. (2002). Effect of gamma radiation and some agrochemicals on germination, growth and flowering of *Delphinium ajacis* and *Mathiola incana* Plants [Thesis].

[7] Nassar, A. H., Hashim, M. F., Hassan, N. S., & Abo-Zaid, H. (2004). Effect of gamma irradiation and phosphorus on growth and oil production of chamomile (Chamomilla recutita L. Rauschert). *International journal of agriculture and biology*, *6*(5), 776–780. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20053026529

[8] Esnault, M. A., Legue, F., & Chenal, C. (2010). Ionizing radiation: advances in plant response. *Environmental and experimental botany*, *68*(3), 231–237. DOI:10.1016/j.envexpbot.2010.01.007

[9] Hameed, A., Shah, T. M., Atta, B. M., Haq, M. A., & Sayed, H. (2008). Gamma irradiation effects on seed germination and growth, protein content, peroxidase and protease activity, lipid peroxidation in desi and kabuli chickpea. *Pakistan journal of botany*, *40*(3), 1033–1041.

[10] Al-Salhi, M., Ghannam, M. M., Al-Ayed, M. S., El-Kameesy, S. U., & Roshdy, S. (2004). Effect of γ-irradiation on the biophysical and morphological properties of corn. *Food/Nahrung*, *48*(2), 95–98. DOI:10.1002/food.200300331

[11] Nepal, S., Ojha, B. R., Meador, A. S., Gaire, S. P., & Shilpakar, C. (2014). Effect of gamma rays on germination and photosynthetic pigments of maize (Zea Mays L.) inbred. *International journal of research*, *1*(5), 511–525.

[12] Badr, A., Ahmed, H. I. S., Hamouda, M., Halawa, M., & Elhiti, M. A. (2014). Variation in growth, yield and molecular genetic diversity of M2 plants of cowpea following exposure to gamma radiation. *Life science journal*, *11*(8), 10–19.

[13] Navarrete, M. H., Carrera, P., de Miguel, M., & de la Torre, C. (1997). A fast comet assay variant for solid tissue cells. The assessment of DNA damage in higher plants. *Mutation research - genetic toxicology and environmental mutagenesis*, *389*(2–3), 271–277. DOI:10.1016/S1383-5718(96)00157-X

[14] Korkina, L. G. (2007). Phenylpropanoids as naturally occurring antioxidants: from plant defense to human health. *Cellular and molecular biology*, *53*(1), 15–25. DOI:10.1170/T772

[15] Borzouei, A., Kafi, M., Sayahi, R., Rabiei, E., & Amin, P. S. (2013). Biochemical response of two wheat cultivars (Triticum aestivum L.) to gamma radiation. *Pakistan journal of botany*, *45*(2), 473–477.

[16] Alikamanoglu, S., Yaycili, O., & Sen, A. (2011). Effect of gamma radiation on growth factors, biochemical parameters, and accumulation of trace elements in soybean plants (Glycine max L. Merrill). *Biological trace element research*, *141*, 283–293. https://doi.org/10.1007/s12011-010-8709-y

[17] Musa, H. A. A., Ahmed, E. E., Osman, G., Ali, H., & Müller, J. (2010). Microbial load and phytochemicals stability of camel hay (Cymbopogon schoenanthus L) leaves as affected by gamma irradiation. *Agriculture and biology journal of north america*, *1*(4), 662–670. https://scihub.org/ABJNA/PDF/2010/4/1-4-662-670.pdf

[18] Winkel-Shirley, B. (2002). Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Current opinion in plant biology*, *5*(3), 218–223. DOI:10.1016/S1369-5266(02)00256-X

[19] Kovács, E., & Keresztes. (2002). Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. *Micron*, *33*(2), 199–210. DOI:10.1016/S0968-4328(01)00012-9

[20] Minea, R., Nemţanu, M. R., Manea, S., & Mazilu, E. (2007). Use of electron beam irradiation to improve the microbiological safety of Hippophae rhamnoides. *Nuclear instruments and methods in physics research section a: accelerators, spectrometers, detectors and associated equipment*, *580*(1), 792–794. https://doi.org/10.1016/j.nima.2007.05.193

[21] Koseki, P. M., Villavicencio, A. L. C. H., Brito, M. S., Nahme, L. C., Sebastião, K. I., Rela, P. R., … & Freitas, P. C. D. (2002). Effects of irradiation in medicinal and eatable herbs. *Radiation physics and chemistry*, *63*(3–6), 681–684. DOI:10.1016/S0969-806X(01)00658-2

[22] Borzouei, A., Kafi, M., Khazaei, H., Naseriyan, B., & Majdabadi, A. (2010). Effects of gamma radiation on germination and physiological aspects of wheat (Triticum aestivum l.) seedlings. *Pakistan journal of botany*, *42*(4), 2281–2290.

[23] Soriani, R. R., Satomi, L. C., & Pinto, T. D. J. A. (2005). Effects of ionizing radiation in ginkgo and guarana. *Radiation physics and chemistry*, *73*(4), 239–242. DOI:10.1016/j.radphyschem.2005.01.003

[24] Muthusamy, A., Vasanth, K., & Jayabalan, N. (2003). Responses of physiological and biochemical components in Gossypium hirsutum L. to mutagens. *Journal of nuclear agriculture and biology*, *32*(1), 44-51. https://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=34060036

[25] Rahimi, M. M., & Bahrani, A. (2011). Effect of gamma irradiation on qualitative and quantitative characteristics of canola (Brassica napus L.). *Middle-east journal of scientific research*, *8*(2), 519–525.

[26] Timperio, A. M., Egidi, M. G., & Zolla, L. (2008). Proteomics applied on plant abiotic stresses: role of heat shock proteins (HSP). *Journal of proteomics*, *71*(4), 391–411. DOI:10.1016/j.jprot.2008.07.005

[27] Hadian, J., Akramian, M., Heydari, H., Mumivand, H., & Asghari, B. (2012). Composition and invitro antibacterial activity of essential oils from four Satureja species growing in Iran. *Natural product research*, *26*(2), 98–108. DOI:10.1080/14786419.2010.534734

[28] Panwar, P., & Bhardwaj, S. D. (2005). *Handbook of practical forestry*. Agrobios.

[29] Kulkarni, M. G., Street, R. A., & Van Staden, J. (2007). Germination and seedling growth requirements for propagation of Dioscorea dregeana (Kunth) Dur. and Schinz-A tuberous medicinal plant. *South african journal of botany*, *73*(1), 131–137. DOI:10.1016/j.sajb.2006.09.002

[30] Biradar, K. S., Sailmath, P. M., & Ravikumar, R. L. (2007). 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. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20083091152

[31] Gheshlaghpour, J., Asghari, B., Khademian, R., & Sedaghati, B. (2021). Silicon alleviates cadmium stress in basil (Ocimum basilicum L.) through alteration of phytochemical and physiological characteristics. *Industrial crops and products*, *163*, 113338. DOI:10.1016/j.indcrop.2021.113338

[32] Asghari, B., Mafakheri, S., Zengin, G., Dinparast, L., & Bahadori, M. B. (2020). In-depth study of phytochemical composition, antioxidant activity, enzyme inhibitory and antiproliferative properties of Achillea filipendulina: a good candidate for designing biologically-active food products. *Journal of food measurement and characterization*, *14*, 2196–2208. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00466-5

[33] Kaya, M. D., Okçu, G., Atak, M., Çikili, Y., & Kolsarici, Ö. (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (Helianthus annuus L.). *European journal of agronomy*, *24*(4), 291–295. DOI:10.1016/j.eja.2005.08.001

[34] Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2005). Pre-sowing seed treatment-a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in agronomy*, *88*, 223–271. DOI:10.1016/S0065-2113(05)88006-X

[35] Bahmani, M., Yousefi, S., & Kartolinezhad, D. (2016). 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. (**In Persian**). https://yujs.yu.ac.ir/jisr/article-1-101-en.html&sw=Rice

[36] Bedell, P. E. (1998). *Seed science and technology: Indian forestry species*. Allied Publishers.

[37] Majd, F.,& Ardakani, M. R. (2010). *Nuclear techniques in agricultural sciences*. Publications of Tehran University Printing and Publishing Institute. (**In Persian**). https://www.gisoom.com/book/1673944

[38] Kiong, A. L. P., Lai, A. G., Hussein, S., & Harun, A. R. (2008). Physiological responses of Orthosiphon stamineus plantlets to gamma irradiation. *American-eurasian journal of sustainable agriculture*, *2*(2), 135–149.

[39] Bagheri, L., Amiri-Khah, R., Noori, M., & Mozafari, K. (2017). Effect of gamma irradiation on growth and determine optimum dose in order to induce genetic variation in landrace rice (Oryza sativa L.) Cultivars. *Journal of crop breeding*, *9*(21), 130–138.

[40] Preuss, S. B., & Britt, A. B. (2003). A DNA-damage-induced cell cycle checkpoint in arabidopsis. *Genetics*, *164*(1), 323–334. DOI:10.1093/genetics/164.1.323

[41] Noreen, Z., & Ashraf, M. (2009). Changes in antioxidant enzymes and some key metabolites in some genetically diverse cultivars of radish (Raphanus sativus L.). *Environmental and experimental botany*, *67*(2), 395–402. DOI:10.1016/j.envexpbot.2009.05.011

[42] Ashraf, M. (2009). Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology advances*, *27*(1), 84–93. DOI:10.1016/j.biotechadv.2008.09.003

[43] Al-Rumaih, M. M., & Al-Rumaih, M. M. (2008). Influence of ionizing radiation on antioxidant enzymes in three species of Trigonella. *American journal of environmental sciences*, *4*(2), 151–156. DOI:10.3844/ajessp.2008.151.156

[44] Farooq, M., Aziz, T., Basra, S. M. A., Cheema, M. A., & Rehman, H. (2008). Chilling tolerance in hybrid maize induced by seed priming with salicylic acid. *Journal of agronomy and crop science*, *194*(2), 161–168. DOI:10.1111/j.1439-037X.2008.00300.x

[45] Isvand, H., Azarnia, M., Firoozabadi, F. N., & Sharafi, R. (2012). Effects of priming by gibberellin and abcsisic acid on emergence and some physiological characters of chikpea (Cicer arietinum L.) seedling under dry and irrigated conditions. *Iranian journal of field crop science*, *42*(4), 789–797. (**In Persian**). https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20123099924

[46] Iloki-Assanga, S. B., Lewis-Luján, L. M., Lara-Espinoza, C. L., Gil-Salido, A. A., Fernandez-Angulo, D., Rubio-Pino, J. L., & Haines, D. D. (2015). Solvent effects on phytochemical constituent profiles and antioxidant activities, using four different extraction formulations for analysis of Bucida buceras L. and Phoradendron californicum. *BMC research notes*, *8*(396), 1–14. https://doi.org/10.1186/s13104-015-1388-1

[47] Guo, C., Cao, G., Sofic, E., & Prior, R. L. (1997). High-performance liquid chromatography coupled with coulometric array detection of electroactive components in fruits and vegetables: relationship to oxygen radical absorbance capacity. *Journal of agricultural and food chemistry*, *45*(5), 1787–1796. DOI:10.1021/jf960786d

[48] Hong, M. J., Kim, D. Y., Ahn, J. W., Kang, S. Y., Seo, Y. W., & Kim, J. B. (2018). Comparison of radiosensitivity response to acute and chronic gamma irradiation in colored wheat. *Genetics and molecular biology*, *41*(3), 611–623. DOI:10.1590/1678-4685-gmb-2017-0189

[49] Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant physiology and biochemistry*, *48*(12), 909–930. DOI:10.1016/j.plaphy.2010.08.016

[50] Dangles, O. (2012). Antioxidant activity of plant phenols: chemical mechanisms and biological significance. *Current organic chemistry*, *16*(6), 692–714. DOI:10.2174/138527212799957995

[51] Bezic, N., Dunkic, V., & Vuko, E. (2013). Antiphytoviral activity of essential oils of some lamiaceae species and there most important compounds on CMV and TMV. *Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and education*, 982–988. file:///C:/Users/NoteBook/Downloads/685454.982-988.pdf

[52] Bhat, R., Sridhar, K. R., & Tomita-Yokotani, K. (2007). Effect of ionizing radiation on antinutritional features of velvet bean seeds (Mucuna pruriens). *Food chemistry*, *103*(3), 860–866. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.09.037

[53] Nazzaro, F., Fratianni, F., Picariello, G., Coppola, R., Reale, A., & Luccia, A. Di. (2007). Evaluation of gamma rays influence on some biochemical and microbiological aspects in black truffles. *Food chemistry*, *103*(2), 344–354. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.07.067

[54] Lois, R. (1994). Accumulation of UV-absorbing flavonoids induced by UV-B radiation in Ambidopsis thaliana L. I. Mechanisms of UV-resistance in Arabidopsis. *Planta*, *194*(4), 498–503. DOI:10.1007/BF00714462

[55] Mohajer, S., Taha, R. M., Lay, M. M., Esmaeili, A. K., & Khalili, M. (2014). Stimulatory effects of gamma irradiation on phytochemical properties, mitotic behaviour, and nutritional composition of sainfoin (Onobrychis viciifolia Scop.). *The scientific world journal*, *2014*. https://doi.org/10.1155/2014/854093

[56] Havsteen, B. H. (2002). The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacology and therapeutics*, *96*(2–3), 67–202. DOI:10.1016/S0163-7258(02)00298-X

[57] Peng, Q., & Zhou, Q. (2008). Effect of lanthanum on the flavonoids contents and antioxidant capacity in soybean seedling under ultraviolet-B stress. *Huanjing kexue/environmental science*, *29*(7), 2024–2027.

[58] Lin, D., Xiao, M., Zhao, J., Li, Z., Xing, B., Li, X., ... & Chen, S. (2016). An overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and management of type 2 diabetes. *Molecules*, *21*(10), 1–19. DOI:10.3390/molecules21101374

[59] Mejri, S., Hemissi, I., Brinsi, C., Asmi, A., Saidi, M., & Mabrouk, Y. (2021). Dose dependent effects of gamma radiation on growth parameters of lens culinaris medikus subsp. Culinaris. *Acta scientific agriculture*, *5*(7), 83–89. DOI:10.31080/asag.2021.05.1033

[60] Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-food science and technology*, *28*(1), 25–30. DOI:10.1016/S0023-6438(95)80008-5

[61] Wi, S. G., Chung, B. Y., Kim, J. H., Baek, M. H., Yang, D. H., Lee, J. W., & Kim, J. S. (2005). Ultrastructural changes of cell organelles in Arabidopsis stems after gamma irradiation. *Journal of plant biology*, *48*, 195–200. https://doi.org/10.1007/BF03030408

[62] Kim, J. H., Baek, M. H., Chung, B. Y., Wi, S. G., & 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*, 314–321. https://doi.org/10.1007/BF03030546

[63] Ling, A., Kiong, P., Pick, A., Ling, K., Chia, J. Y., Hussein, S., & Harun, A. R. (2008). Physiological responses of citrus sinensis to gamma irradiation. *World applied sciences journal*, *5*(1), 12–19.

[64] Shukla, R., & Datta, S. K. (1993). Mutation studies on early and late varieties of garden Chrysanthemum. *Journal of nuclear agriculture and biology*, *22*(3–4), 138–142. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19951608480

[65] Malenčić, D., Cvejić, J., & Miladinović, J. (2012). Polyphenol content and antioxidant properties of colored soybean seeds from central Europe. *Journal of medicinal food*, *15*(1), 89–95. DOI:10.1089/jmf.2010.0329

[66] Shikazono, N., Suzuki, C., Kitamura, S., Watanabe, H., Tano, S., & Tanaka, A. (2005). Analysis of mutations induced by carbon ions in Arabidopsis thaliana. *Journal of experimental botany*, *56*(412), 587–596. DOI:10.1093/jxb/eri047

[67] Moghaddam, S. S., Jaafar, H., Ibrahim, R., Rahmat, A., Aziz, M. A., & Philip, E. (2011). Effects of acute gamma irradiation on physiological traits and flavonoid accumulation of Centella asiatica. *Molecules*, *16*(6), 4994–5007. DOI:10.3390/molecules16064994

[68] Rana, S., Kumar, R., Sultana, S., & Sharma, R. (2010). Radiation-induced biomarkers for the detection and assessment of absorbed radiation doses. *Journal of pharmacy and bioallied sciences*, *2*(3), 189. DOI:10.4103/0975-7406.68500

[69] Marcu, D., Damian, G., Cosma, C., & Cristea, V. (2013). Gamma radiation effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (Zea mays). *Journal of biological physics*, *39*(4), 625–634. DOI:10.1007/s10867-013-9322-z