مجله علوم و فنون هسته‌ای، دوره ۴۵، شماره ۳، جلد ۱۰۹، پاییز ۱۴۰۳

Journal of Nuclear Science and Technology
Vol. 45 (4), Serial Number 109, 2024

بررسی صفات جوانه‌زنی دانه روغنی کلزا در پاسخ به تنش خشکی در اثر تیمار غیرمستقیم با پلاسمای سرد کم فشار

راضیه خلیل زاده[۱]، الناز خلیل زاده*[۲]، زهره دهقانی[۲]، علیرضا پیرزاد[۳]، امیر چخماچی[۲]

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، صندوق پستی: ۶۸۱۵۱-۴۴۳۱۶، خرم آباد - ایران
۲ پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۴۳۹۹-۵۱۱۱۳، تهران - ایران
۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، صندوق پستی: ۵۱۸۱۸-۵۷۵۶۱، ارومیه - ایران

*Email: el_84111005@aut.ac.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۲/۱۶ تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۵/۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۶/۱

چکیده

فن‌آوری پلاسمای سرد اتمسفری به عنوان جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی و سازگار با محیط زیست کاربردهای گسترده‌ای در کشاورزی پیدا کرده است. در این تحقیق، اثر تیمار پلاسمای RF روی صفات جوانه‌زنی دانه روغنی کلزا در پاسخ به تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ اجرا گردید. عامل پلاسما در هفت سطح و عامل تنش خشکی در سه سطح ۰/۳-، ۰/۵- و ۰/۹- مگاپاسکال بود. نتایج نشان داد که سطوح تنش خشکی ۰/۵- و ۰/۹- مگاپاسکال به‌ترتیب سبب کاهش معنی‌دار ۵۰/۱۶ و ۶۱/۹۲ درصدی طول ریشه‌چه، ۸/۴۲ و ۷۱/۵۷ درصدی طول ساقه‌چه، ۲۱/۷۹ و ۸۵/۴۶ درصدی وزن خشک ریشه‌چه، ۴/۸۷ و ۳۹/۰۸ درصدی وزن خشک ساقه‌چه، ۱۶ و ۲۴ درصدی، درصد جوانه‌زنی در مقایسه با سطح خشکی ۰/۳- مگاپاسکال گردید. در این آزمایش رشد طولی ساقه‌چه در مقایسه با رشد طولی ریشه‌چه بیش‌تر تحت اثر خشکی شدید قرار گرفت. لذا می‌تواند ویژگی مناسبی برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی باشد. قرار گرفتن بذور کلزا در تیمارهای پلاسمایی ۲۰۰ وات در زمان نه دقیقه بیش‌ترین اثر تحریک‌کننده‌ای را با توجه به درصد جوانه‌زنی و رشد گیاه‌چه‌ها در کلزا نشان داد.

کلیدواژه‌ها: پلاسمای سرد، تنش خشکی، کلزا، گیاهچه

Investigation of germination characteristics of oilseed rape in response to drought stress due to indirect treatment with low-pressure cold plasma

R. Khalilzadeh[1], E. Khalilzadeh*[2], Z. Dehghani[2], A.R. Pirzad[3], A. Chakhmachi[2]

1. Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, P.O.Box: 68151-44316, Korramabad - Iran
2. Plasma and Nuclear Fusion Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O. Box: 14399-51113, Tehran - Iran
3. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, P.O.Box: 57561-51818, Urmia - Iran

Research Article

Received: 6.5.2023, Revised: 24.7.2023, Accepted: 23.8.2023

Abstract

Cold atmospheric plasma technology has found wide applications in agriculture as a suitable alternative to traditional and environmentally friendly methods. In this research, the effect of RF plasma treatment on oilseed rape germination characteristics in response to drought stress has been investigated. This study was conducted as a factorial experiment based on a completely randomized design in 1401. The plasma factor in seven levels (P1, P2, P3, P4, P5, P6, and P7) and the drought stress factor in three levels were -0.3, -0.5, and -0.9 MPa. The results showed that drought stress levels of -0.5 and -0.9 MPa caused a significant decrease of 50.16 and 61.92% of root length, 8.42 and 71.57% of shoot length, 21.79 and 85.46% of root dry weight, 4.87% and 39.08% of stem dry weight, 16% and 24% of germination percentage compared to drought level -0.3 MPa. In this experiment, the longitudinal growth of the stem compared to the longitudinal growth of the root was more affected by severe drought. Therefore, it can be a suitable feature to evaluate drought tolerance. Exposure of canola seeds to plasma treatments of 200 W for nine minutes showed the most stimulating effect regarding the percentage of germination and seedling growth in canola.

Keywords: Cold plasma, Drought stress, Rapeseed, Seedling

۱. مقدمه

تغییرات آب و هوایی منجر به مشکلاتی در نرخ تولید مواد غذایی می‌شود. در عین حال، با افزایش مداوم جمعیت جهان در کنار افزایش استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی برای کنترل آفات و بیماری‌ها برای بهبود بهره‌وری، تقاضای غذا افزایش می‌یابد. بنابراین، جستجوی یک تکنیک کارآمد جدید برای بهبود رشد گیاه، تسریع جوانه‌زنی و مقاومت در برابر تنش‌ها از جمله تنش شوری از اهمیت بالایی برخوردار است. تنش خشکی مانند دیگر تنش‌های محیطی موجب تجمع گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن (ROS) مانند پراکسید هیدروژن، سوپر اکسید و رادیکال‌های هیدروکسیل در سلول و آسیب رساندن به پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدهای غشا می‌شود. در این راستا، تکنیک‌هایی مانند تیمارهای شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی در حال توسعه هستند [۱-۳]. با این حال، در چارچوب فن‌آوری بذر، تیمارهای تقویت فیزیکی در بذرها می‌تواند منجر به تغییر مورفولوژی بذر، بیان ژن و سطح پروتئین شود [۴]. این تغییرات فیزیکی می‌تواند منجر به افزایش جوانه‌زنی و رشد شود. روش‌های فیزیکی برای تیمارهای قبل از کاشت بذر عبارتند از: میدان مغناطیسی، امواج الکترومغناطیسی، پرتوهای یونیزان، اولتراسوند، پلاسمای غیرحرارتی (NTP[1]) که موجب مقاومت و پایداری گیاهان در برابر تنش‌های محیطی می‌گردد. در این میان، پلاسمای سرد یا پلاسمای غیرحرارتی یک روش نوین می‌باشد که دارای مزیت‌های فراوانی می‌باشد از جمله: اصلاح سطح مواد بدون تخریب حرارتی، میزان اثرگذاری بالا و طولانی‌مدت، سادگی در به‌کارگیری فرایند، فرایندی خشک و بدون استفاده از مواد شیمیایی سمی و آلوده‌کننده محیط، صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی، امکان تیمار در فشار محیط، دارای خاصیت ضدمیکروبی و دارای استانداردهای زیست محیطی بسیار بالا. به همین دلیل، امروزه پلاسمای سرد در صنایع غذایی و کشاورزی توجه خاصی به خود جلب کرده است [۵-۱۰]. در پلاسما، گونه‌های مختلف واکنش‌پذیر اکسیژن‌دار و نیتروژن‌دار وجود دارد که نقش مهمی در تنظیم فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و سلولی در گیاهان دارند و موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی و عملکرد دانه‌ها می‌گردد. در واقع، تخلیه‌های NTP گونه‌های باردار واکنش‌پذیر مانند الکترون‌ها و یون‌ها و گونه‌های خنثی را تولید می‌کنند و تشعشعات فرابنفش و میدان‌های الکتریکی را ساطع می‌کنند. پلاسما گونه‌های فعال اکسیژن و نیتروژن (RONS[2]) و تغییر در خواص pH محلول، هدایت الکتریکی و پتانسیل کاهش اکسیداسیون را ایجاد کرد. گونه‌های شیمیایی واکنش‌پذیر، میدان الکترومغناطیسی و دمای پلاسما روی ماده بذر تأثیر می‌گذارند. در بیش‌تر موارد، سطح بذر آب‌دوست‌تر می‌شود زیرا رقابت بین عامل‌دار شدن مولکول‌های سطح روی می‌دهد. آب‌دوستی عمدتاً مربوط به حذف ساختارهای مومی از سطح دانه‌ها با اچ پلاسما است که می‌تواند بر مورفولوژی بذر تأثیر بگذارد، زیرا ممکن است تغییرات نانوساختار روی سطح دانه مشاهده شود. برهم‌کنش گونه‌های شیمیایی فعال در پلاسما، شیمی سطح را نیز تغییر می‌دهد (عملکردی‌سازی سطح)، که ممکن است ترشوندگی سطح، جذب آب را بهبود بخشد و در نتیجه، مسیرهای سیگنالینگ پیچیده را در دانه‌ها آغاز کند. بسته به شرایط درمان پلاسما، تغییرات در DNA، فعالیت آنزیمی و تعادل هورمونی نیز شناسایی شده است. به طور خلاصه تغییرات ناشی از پلاسما می‌تواند بر جوانه‌زنی، رشد و نمو بعدی گیاهان، مقاومت آن‌ها در برابر تنش غیرزیستی و عملکرد تأثیر بگذارد [۱۱]. نکته مهمی که باید در خصوص معایب استفاده از پلاسمای سرد نام برد تنوع بسیار بالای دستگاه‌های تولیدکننده پلاسما می‌باشد. از طرفی هر دستگاهی بسته به مشخصات خود (دما، فشار، قدرت منبع تغذیه، نوع گاز مورد استفاده و ...) پلاسمایی با مشخصات متفاوت تولید می‌کند. همین مسأله باعث می‌شود استانداردسازی استفاده از پلاسمای سرد بسیار سخت باشد.

دانه روغنی کلزا[3] یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که در سراسر جهان عمدتاً برای روغن خوراکی و سوخت تجدیدپذیر کشت می‌شود. با وجود افزایش سطح زیر کشت در کشورهای تولیدکننده، مقدار نهایی محصول قادر به پاسخگویی سریع به تقاضای مصرفی در حال افزایش نیست [۱۲]. از آن‌جایی که سطح زیر کشت به سختی افزایش می‌یابد، تنها راه برای رفع کمبود دانه‌های روغنی کلزا، بهبود عملکرد محصول است. جوانه‌زنی، رشد و عملکرد تا حد زیادی توسط خواص بذر تعیین می‌شود [۱۳]. دلایل اصلی جوانه‌زنی کم دانه‌های روغنی کلزا اغلب به آلودگی میکروبی، شرایط تنش مربوط می‌شود [۱۴]. تیمار دانه روغنی کلزا و اثر آن روی صفات جوانه‌زنی و رشد گیاه با استفاده از منابع پلاسمایی مختلف و با استفاده از گازهای مختلف توسط محققان این حوزه انجام شده است [۱۵-۱۸]. در تحقیقی که توسط نیشیمه و همکاران انجام شد.

1. Non-Thermal Plasma

2. Reactive Oxygen and Nitrogen Species

3. *Brassica Napus* L

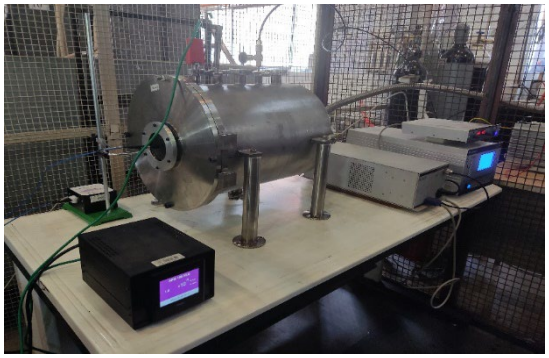
یک رآکتور تاج مخروطی‌شکل که با آرگون کار می‌کند طراحی و ساخته شده و برای تیمار دانه‌های دانه کلزا و بررسی خواص اساسی آن استفاده گردید [۱۵]. نشان داده شد که تیمار کلزا با استفاده از چرخه‌های ولتاژ مختلف منجر به افزایش ترشوندگی سطحی می‌گردد که احتمالاً موجب تسریع در جوانه‌زنی می‌شود. در واقع تخلیه تولید شده توسط رآکتور مخروطی توانست محیطی سرشار از گونه‌های اکسیژن فعال را فراهم کند. در تحقیقی دیگر توسط لی و همکاران، اثرات تیمار پلاسمای سرد هلیوم روی جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه و عملکرد دانه روغنی کلزا مورد بررسی قرار گرفته است [۱۶]. بذرها به مدت ۱۵ ثانیه در معرض پلاسمای سرد هلیوم در فشار کم، از ۰ تا ۱۲۰ وات قرار گرفتند. نشان داده شد که پلاسمای سرد جوانه‌زنی، رشد گیاه و عملکرد کلزا را افزایش داده و تیمار ۱۰۰ وات بهترین نتیجه را ارائه داد. هم‌چنین، سرعت جوانه‌زنی، شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه و یکنواختی سبز شدن با تیمار پلاسمای سرد بهبود یافت. در گزارش دیگری، تأثیر تخلیه سد دی الکتریک کم‌فشار پلاسما و آب فعال شده پلاسما با گاز آرگون، اکسیژن و هوا روی جوانه‌زنی و رشد در کلزا بررسی شد [۱۷]. در اثر تیمار پلاسما، فعالیت آلفا آمیلاز (القاءکننده جوانه‌زنی) به طور معنی‌داری در بذر افزایش یافت. با توجه به نتایج به‌دست آمده، نشان داده شد که گیاهان کلزا رشد یافته از دانه‌های تیمار شده با پلاسما بهبود قابل توجهی در ویژگی‌های اندام هوایی، سنتز کلروفیل، کل پروتئین محلول و غلظت قند در مقایسه با شاهد نشان دادند. لینگ و همکاران اثرات تیمار پلاسمای سرد هلیوم بر جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، سطوح پراکسیداسیون لیپیدی و محصولات تنظیم اسمزی کلزا تحت تنش خشکی مورد بررسی قرار دادند [۱۸]. نتایج آن‌ها نشان داد که تحت تنش خشکی، تیمار پلاسمای سرد به طور قابل توجهی سرعت جوانه‌زنی را بهبود می‌بخشد. هم‌چنین ویژگی‌های رشد گیاهچه، از جمله وزن خشک اندام هوایی و ریشه، طول ساقه و ریشه، و تعداد ریشه جانبی پس از درمان با پلاسمای سرد به طور قابل توجهی افزایش یافتند. هم‌چنین درمان با پلاسمای سرد به طور قابل توجهی فعالیت‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز را افزایش می‌دهد.

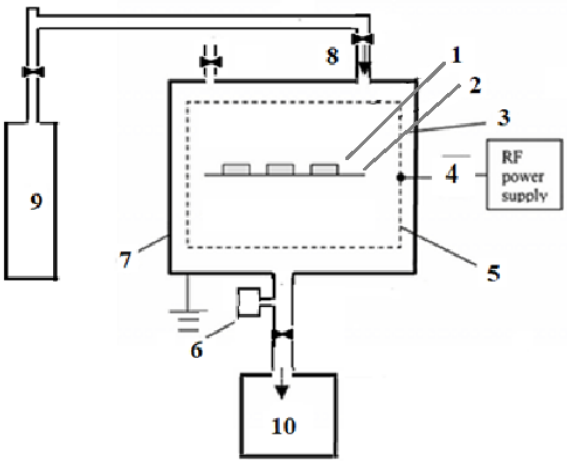
در این تحقیق، برای نخستین بار، اثر تیمار پلاسمای RF آرگون، نیتروژن و اکسیژن (به نسبت ۱:۲:۲) در فشار پایین (یک دهم میلی بار) روی صفات جوانه‌زنی دانه روغنی کلزا در پاسخ به تنش خشکی بررسی می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

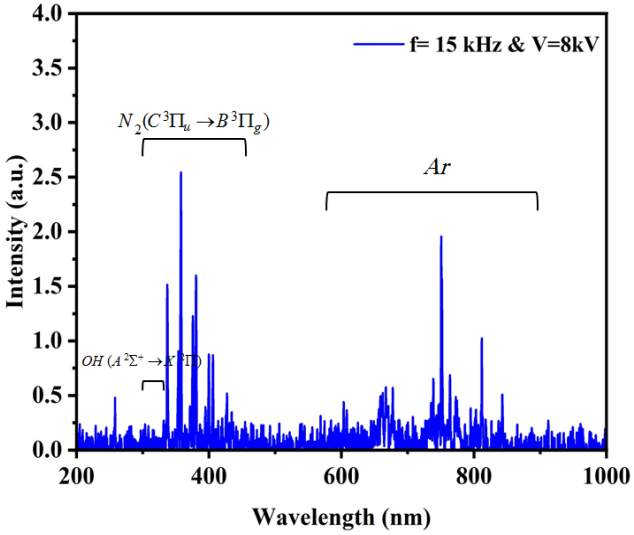
۱.۲ منبع پلاسمایی

تیمارهای بذر قبل از کاشت در یک رآکتور پلاسمای RF با شکل استوانه‌ای مطابق شکل ۱ انجام می‌شود. تخلیه بین دو الکترود استوانه‌ای (الکترود دوم توری‌شکل می‌باشد) که از جنس فولاد ضدزنگ است ایجاد می‌شود. الکترود بزرگ‌تر به قطر ۳۰ سانتی‌متر و طول ۴۰ سانتی‌متر بوده و فاصله بین دو الکترود یک سانتی‌متر می‌باشد. الکترودها با یک منبع تغذیه رادیو فرکانسی با فرکانس استاندارد ۱۳/۵۶ مگا هرتز، توان متغیر بین ۰ تا ۶۰۰ وات و شبکه تطبیق متصل می‌شوند. ترکیب سه گاز اکسیژن، آرگون و نیتروژن (به نسبت ۲:۲:۱ به ترتیب) به عنوان گاز در حال کار استفاده می‌شود که از طریق یک شیر سوزنی به داخل محفظه پمپ می‌شود. محفظه توسط یک سیستم پمپاژ تا فشار پایه یک صدم تور خلأ می‌شود. دانه‌ها در سطح یک ظرف استریل شده قرار داده شدند. انرژی انتقال یافته به پلاسما گونه‌های گازی مختلفی را در حالت‌های برانگیخته تولید می‌کند. برخی از این گونه‌ها را می‌توان بر اساس طیف‌های نشر نوری مشخصه پلاسما شناسایی کرد. در این‌جا از طیف‌سنج مدل V۹۰۰ (محصول شرکت فن‌آوران فیزیک نوین) با وضوح طیفی ۱ نانومتر، در محدوده طیفی ۲۰۰-۱۱۰۰ nm برای اندازه‌گیری شدت نور نشری از پلاسمای تولید شده مورد استفاده می‌شود. فیبر فوتو مولتی پلایر که پاسخ آن بین ۲۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر است، برای جمع‌آوری فوتون‌ها استفاده شده و سیگنال خروجی آن پس از تقویت به رایانه منتقل می‌شود. به منظور کالیبره کردن کل سیستم نوری از جمله فیبر نوری، از منبع نوری یک نمونه تک اتمی شناخته شده مانند لامپ‌های جیوه و هلیوم، استفاده می‌شود. در شکل ۲ طیف انتشار نوری را در محدوده ۲۰۰ nm تا ۱۰۰۰ مشاهده می‌کنید. این طیف ناشی از پلاسمای رادیو فرکانسی با توان ۲۰۰ وات و ترکیب سه گاز اکسیژن، آرگون و نیتروژن (به نسبت ۱، ۲ و ۲) می‌باشد. از طیف‌ها مشخص است که پلاسمای تولید شده شامل خطوط طیفی آرگون، $OH\ (A^{2}\Sigma^{+} \rightarrow X^{2}\Pi)$، نیتروژن $(C^{3}\Pi_{u} \rightarrow B^{3}\Pi_{g})$، یون نیتروژن $(B^{2}\Sigma_{u} \rightarrow X^{2}\Sigma_{g})$ است.





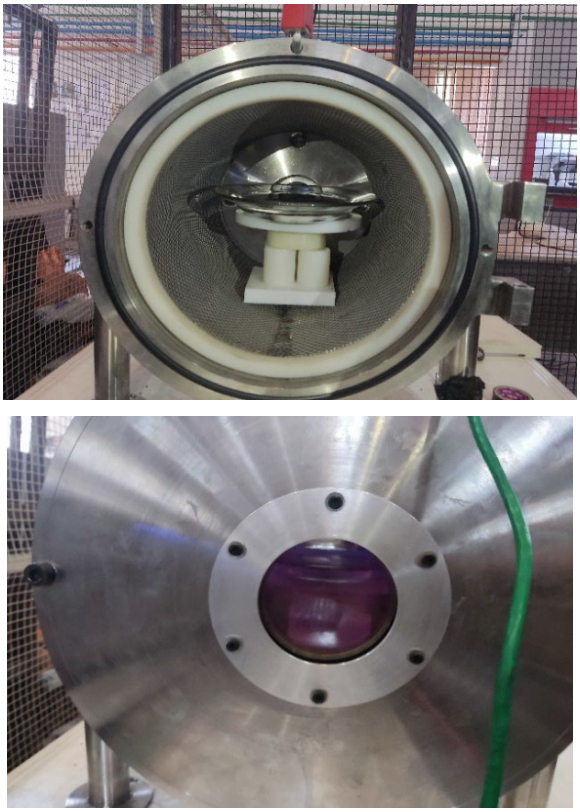
شکل ۱. دستگاه پلاسمایی مورد استفاده و شماتیک آن، ۱) نمونه چیده شده، ۲) سینی‌های نگه‌دارنده، ۳) منطقه پلاسما، ۴) شبکه تطبیق، ۵) الکترود شبکه‌ای، ۶) فشارسنج، ۷) الکترود (چمبر)، ۸) پورت هوادهی، ۹) سیستم تزیق گاز (شامل کپسول گاز، لوله‌های ارتباطی و شیرهای سوزنی)، ۱۰) پمپ خلأ.



شکل ۲. طیف انتشار نوری را در محدوده ۲۰۰ nm تا ۱۰۰۰.

۲.۲ روش انجام کار

آزمایش به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح کاملاً تصادفی در سه سطح خشکی (۰/۳-، ۰/۵- و ۰/۹- مگاپاسکال) و هفت سطح پلاسما (قدرت ۱۰۰ وات در زمان سه دقیقه، قدرت ۱۰۰ وات در زمان پنج دقیقه، قدرت ۱۰۰ وات در زمان نه دقیقه، قدرت ۲۰۰ وات در زمان سه دقیقه، قدرت ۲۰۰ وات در زمان پنج دقیقه، قدرت ۲۰۰ وات در زمان نه دقیقه و بدون تیمار پلاسما و زمان به عنوان شاهد) بودند (در شکل ۳، نحوه تیمار بذرهای کلزا کاملاً مشخص می‌باشد). بذور ابتدا ضدعفونی شده و پس از چندین بار شستشو با آب مقطر، بر روی کاغذ صافی، در ظروف پتری استریل شده به قطر ۹ سانتی‌متر، قرار داده شدند و قبل از انتقال به ژرمیناتور، به مدت یک هفته در انکوباتور در دمای بین ۰-۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس درون ژرمیناتور در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد با تناوب ۱۲ ساعت نور و تاریکی قرار داده شدند. تعداد بذور جوانه زده هر روز شمارش شدند. بذرهایی که طول ریشه‌چه آن‌ها دو میلی‌متر بود جوانه زده محسوب شدند. در آخرین روز با انتخاب تصادفی پنج گیاهچه از هر ظروف پتری، ریشه‌چه و ساقه‌چه جدا شده طول و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها در محاسبه استفاده شد. درصد و سرعت جوانه‌زنی از روش سلطانی و همکاران [۱۵] محاسبه شد. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (ورژن ۹/۱) و مقایسه میانگین صفات با روش LSD در سطح ۵ درصد انجام گردید.



شکل ۳. نحوه تیماردهی با پلاسما.

۳. نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش تنش خشکی و سطوح پلاسما اختلاف معنی‌داری برای طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی وجود داشت (جدول ۱).

با توجه به جدول ۱ بیش‌ترین طول ریشه‌چه در تیمارهای ($D_۲P_۶$، $D_۱P_۶$، $D_۱P_۲$، $D_۱P_۳$، $D_۲P_۳$) به ترتیب ۱۰/۲۲، ۱۰/۲۱، ۱۰/۲۰، ۹/۸۷ و ۹/۸۱ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد و تیمار $D_۳P_۷$ با میانگین (۳/۳۷ سانتی‌متر) کم‌ترین طول ریشه‌چه را به خود اختصاص داد.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیش‌ترین طول ساقه‌چه در تیمارهای $D_۱P_۶$ و $D_۲P_۶$ با میانگین (۲/۵۲ سانتی‌متر) و کم‌ترین طول ساقه‌چه (۰/۲۷ سانتی‌متر) در تنش خشکی ۰/۹- مگاپاسکال و تیمار بدون پلاسما به‌دست آمد. در تنش خشکی ۰/۹- مگاپاسکال با افزایش مدت زمان تابش پلاسمای سرد طول ساقه‌چه افزایش یافت ولی در سایر تیمارهای خشکی افزایش مدت زمان تابش متفاوت بود به طوری‌که افزایش مدت زمان تابش در تیمار ۱۰۰ وات پلاسما در تنش خشکی ۰/۳- مگاپاسکال موجب کاهش ۳۷/۴۴ درصدی طول ساقه‌چه گردید.

نتایج نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک ریشه‌چه مربوط به تیمار بذر با قدرت ۱۰۰ وات در زمان پنج دقیقه تحت شرایط تنش ۰/۳- مگاپاسکال بود و در شرایط تنش ۰/۹- مگاپاسکال، تیمار بذر با قدرت ۲۰۰ وات در زمان نه دقیقه سبب افزایش ۹۵۹٪ وزن خشک ریشه‌چه گردید (جدول ۱).

بیش‌ترین وزن خشک ساقه‌چه مربوط به $D_۱P_۳$ و $D_۱P_۶$ (به ترتیب ۲۸/۱۷ و ۲۷/۷۰) و کم‌ترین آن مربوط به تیمارهای $D_۳P_۷$ و $D_۳P_۴$ (به ترتیب ۱۲/۲۵ و ۱۲/۵۳) بود (جدول ۱) که نشان می‌دهد تیمار $P_۴$ (قدرت ۲۰۰ وات در زمان سه دقیقه) اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون پلاسما نداشت.

درصد جوانه‌زنی در تنش خشکی ۰/۳- مگاپاسکال در همه سطوح پلاسما نسبت به سایر تیمارها در بیش‌ترین مقدار بود و اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف پلاسما مشاهده نشد. تنش خشکی ۰/۹- مگاپاسکال کم‌ترین درصد جوانه‌زنی را به خود اختصاص دادند (جدول ۱).

بررسی اثر متقابل تنش خشکی و سطوح پلاسما بر جوانه‌زنی بذرهای کلزا نشان داده‌اند که با افزایش سطوح تنش خشکی شاخص‌های جوانه‌زنی کاهش یافت ولی شیب کاهش طول ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه بیش از سایر تیمارها بود. اما تیمار بذر با پلاسما سبب افزایش شاخص‌های اندازه‌گیری گردید.

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و سطوح مختلف پلاسما نشان داد که تیمار بدون پلاسما در تنش خشکی ۰/۹- و ۰/۵- مگاپاسکال بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی را به خود اختصاص دادند و اختلاف معنی‌داری از نظر صفت سرعت جوانه‌زنی بین سطوح تنش خشکی در تیمار بدون پلاسما مشاهده نشد. کم‌ترین مقدار مربوط به سرعت جوانه‌زنی در تیمار پلاسمای ۲۰۰ وات در زمان نه دقیقه در تنش خشکی ۰/۳- مگاپاسکال حاصل شد یعنی در این تیمار بذرها در مدت زمان کم‌تری جوانه زدند (جدول ۱).

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و تیمار پلاسما نشان داد که با افزایش سطوح تنش خشکی شاخص‌های جوانه‌زنی کاهش یافت. در این زمینه جماتی سمارین و همکاران گزارش کردند که اعمال تنش خشکی با پلی اتیلن گلیکول بر اساس (پتانسیل اسمزی) موجب کاهش معنی‌دار طول ساقه‌چه و ریشه‌چه بذور کلزا گردید [۱۹]. آزمایشات متعددی افزایش متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی در گیاه کلزا و سایر گیاهان زراعی را در شرایط تنش کم‌آبی نشان داده‌اند [۲۰، ۲۱]. در مراحل اولیه تنش، سرعت رشد ریشه‌چه به‌منظور جذب بیش‌تر آب و به دلیل حساسیت کم‌تر به تنش خشکی بالاتر بود اما با افزایش سطوح خشکی و کاهش جذب آب توسط بذر، کاهش فعالیت آنزیم‌ها و ترشح هورمون‌ها در رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه اختلال به وجود آمد و منجر به کاهش رشد گیاه می‌گردد [۲۲].

در این پژوهش به نظر می‌رسد تیمارهایی که توان جوانه‌زنی بالایی دارند، الزاماً از رشد گیاهچه (طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه) خوبی برخوردار نیستند. به عبارت دیگر شدت کاهش در سرعت جوانه‌زنی بیش‌تر از درصد جوانه‌زنی بود. جذب آب با وجود پتانسیل پایین آب صورت می‌گیرد و جوانه‌زنی صورت می‌گیرد اما سرعت جوانه‌زنی به دلیل کمبود رطوبت قابل استفاده پایین می‌باشد [۲۳].

در شروع فرایند جوانه‌زنی، کاهش در سرعت جوانه‌زنی احتمالاً به‌دلیل وقفه‌هایی است که بذرها برای جبران خسارت‌های وارد شده به غشاء و دیگر قسمت‌های سلول ایجاد می‌شود که برای جلوگیری از بروز تنش اکسیداتیو و آغاز مجدد فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی نیاز به زمان دارد. جبران این خسارت‌ها ممکن است پس از جذب آب توسط بذر امکان‌پذیر شود [۲۴].

جدول ۱. تأثیر پلاسما و خشکی بر برخی صفات کلزا

تنش خشکی (D)	درجه آزادی (DF)	پلاسما (P)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	طول ساقه‌چه (سانتی متر)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی گرم)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی گرم)	درصد جوانه‌زنی (درصد)	سرعت جوانه‌زنی
		P_1	۸٫۷۹±۱٫۷۶^{c}	۲٫۱۱±۰٫۴۲^{bc}	۴٫۱۳±۰٫۸۳^{ef}	۲۰٫۱۴±۰٫۰۳^{de}	۱۰۰±۲۰^{a}	۳٫۴۵±۰٫۷۵^{jk}
		P_2	۱۰٫۲۰±۲٫۰۴^{a}	۲٫۴۷±۰٫۴۹^{a}	۵٫۷۸±۱٫۱۰^{a}	۲۵٫۶۳±۵٫۱۳^{bc}	۱۰۰±۲۰^{a}	۵٫۴۰±۱٫۱۴^{e}
		P_3	۹٫۸۷±۱٫۹۷^{ab}	۱٫۳۲±۰٫۲۶^{de}	۵٫۲۵±۱٫۰۵^{bc}	۲۸٫۱۷±۵٫۶۳^{a}	۱۰۰±۲۰^{a}	۳٫۷۵±۰٫۸۱^{ij}
D_1	-	P_4	۶٫۳۵±۱٫۲۷^{ef}	۱٫۲۷±۰٫۲۵^{de}	۳٫۱۲±۰٫۶۲^{g}	۱۹٫۱۸±۳٫۸۴^{e}	۱۰۰±۲۰^{a}	۴٫۹۵±۱٫۰۵^{ef}
		P_5	۶٫۳۶±۱٫۲۷^{ef}	۰٫۹۸±۰٫۲۰^{fgh}	۲٫۹۹±۰٫۶۰^{gh}	۲۱٫۱۲±۴٫۲۲^{d}	۹۸±۲۰^{a}	۶٫۹۰±۱٫۴۴^{bc}
		P_6	۱۰٫۲۱±۲٫۰۴^{a}	۲٫۵۲±۰٫۵۰^{a}	۵٫۷۳±۱٫۱۵^{ab}	۲۷٫۷۰±۵٫۵۴^{a}	۱۰۰±۲۰^{a}	۳٫۱۵±۰٫۶۹^{k}
		P_7	۸٫۸۵±۱٫۷۷^{c}	۰٫۹۵±۰٫۱۹^{ghi}	۲٫۸۹±۰٫۵۸^{gh}	۲۰٫۱۱±۴٫۰۲^{de}	۱۰۰±۲۰^{a}	۷٫۳۵±۱٫۵۳^{ab}
		P_1	۷٫۶۲±۱٫۵۲^{d}	۱٫۴۴±۰٫۲۹^{d}	۴٫۲۰±۰٫۸۴^{ef}	۱۹٫۱۶±۳٫۸۳^{e}	۱۰۰±۲۰^{a}	۳٫۶۳±۰٫۷۹^{ijk}
		P_2	۹٫۳۷±۱٫۸۷^{bc}	۲٫۳۱±۰٫۴۶^{ab}	۵٫۲۲±۱٫۰۴^{c}	۲۷٫۱۳±۵٫۴۳^{ab}	۱۰۰±۲۰^{a}	۴٫۷۲±۱٫۰۰۵^{fg}
		P_3	۹٫۸۱±۱٫۹۶^{ab}	۱٫۳۰±۰٫۲۶^{de}	۴٫۸۹±۰٫۹۸^{cd}	۲۴٫۳۲±۴٫۸۶^{c}	۱۰۰±۲۰^{a}	۳٫۹۹±۰٫۸۶^{hi}
D_2	-	P_4	۵٫۵۲±۱٫۱۰^{g}	۱٫۱۱±۰٫۲۲^{efg}	۲٫۸۹±۰٫۵۸^{gh}	۱۷٫۲۶±۳٫۴۵^{f}	۹۲±۱۸^{b}	۶٫۰۹±۱٫۲۸^{d}
		P_5	۵٫۸۸±۱٫۱۸^{fg}	۰٫۹۲±۰٫۱۸^{ghi}	۲٫۵۳±۰٫۵۱^{hi}	۱۹٫۷۰±۳٫۸۳^{e}	۹۰±۱۸^{b}	۶٫۸۸±۱٫۴۳^{bc}
		P_6	۱۰٫۲۲±۲٫۰۴^{a}	۲٫۵۲±۰٫۵۰^{a}	۵٫۷۸±۱٫۱۶^{a}	۲۶٫۶۵±۵٫۳۳^{ab}	۱۰۰±۲۰^{a}	۳٫۵۱±۰٫۷۶^{ijk}
		P_7	۴٫۴۱±۰٫۸۸^{h}	۰٫۸۷±۰٫۱۷^{hi}	۲٫۲۶±۰٫۴۵^{ij}	۱۹٫۱۳±۳٫۸۳^{e}	۸۴±۱۷^{d}	۷٫۷۵±۱٫۶۱^{a}
		P_1	۷٫۵۰±۱٫۵۰^{d}	۰٫۷۳±۰٫۱۵^{i}	۲٫۵۹±۰٫۵۲^{hi}	۱۴٫۲۷±۲٫۸۵^{g}	۸۶±۱۷^{cd}	۵٫۳۷±۱٫۱۳^{e}
		P_2	۶٫۹۹±۱٫۴۰^{de}	۰٫۸۹±۰٫۱۸^{ghi}	۴٫۱۱±۰٫۸۲^{ef}	۱۷٫۱۱±۳٫۴۲^{f}	۱۰۰±۲۰^{a}	۵٫۴۱±۱۴٫^{e}
		P_3	۷٫۳۰±۱٫۴۶^{d}	۱٫۲۰±۰٫۲۴^{ef}	۳٫۸۳±۰٫۱۷^{f}	۱۴٫۲۵±۲٫۸۵^{g}	۱۰۰±۲۰^{a}	۴٫۳۶±۰٫۹۳^{gh}
D_3	-	P_4	۴٫۳۲±۰٫۸۶^{h}	۰٫۷۸±۰٫۱۶^{hi}	۱٫۷۴±۰٫۳۵^{k}	۱۲٫۵۳±۲٫۵۱^{h}	۸۵±۱۷^{cd}	۶٫۵۴±۱٫۳۷^{cd}
		P_5	۴٫۱۷±۰٫۸۳^{h}	۰٫۲۹±۰٫۰۶^{j}	۱٫۸۸±۰٫۳۸^{jk}	۱۴٫۳۲±۲٫۸۶^{g}	۸۷±۱۷^{c}	۶٫۶۳±۱٫۳۹^{c}
		P_6	۷٫۳۵±۱٫۴۷^{d}	۱٫۹۵±۰٫۳۹^{c}	۴٫۴۵±۰٫۸۹^{de}	۱۷٫۲۷±۳٫۴۵^{f}	۱۰۰±۲۰^{a}	۳٫۹۴±۰٫۸۴^{hij}
		P_7	۳٫۳۷±۰٫۶۷^{i}	۰٫۲۷±۰٫۰۵^{j}	۰٫۴۲±۰٫۰۸^{l}	۱۲٫۲۵±۲٫۴۵^{h}	۷۶±۱۵^{e}	۷٫۸۰±۱٫۶۲^{a}
ANOVA	۲	I	۴۱٫۸۶**	۳٫۶۲**	۱۴٫۲۲**	۴۴٫۶۶**	۴۳۸٫۸۵**	۲٫۹۲**
	۶	P	۲۹٫۴۱**	۳٫۲۴**	۱۷٫۲۱**	۹۰٫۱۵**	۲۴۳٫۹۵**	۲۱٫۱۲**
	۱۲	I × P	۲٫۵۲**	۰٫۲۴**	۰٫۲۱*	۸٫۹۱**	۷۸٫۵**	۰٫۶۵**

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD ندارند؛ تنش خشکی در ۰٫۳- مگاپاسکال (D_1)، تنش خشکی در ۰٫۵- مگاپاسکال (D_2)، تنش خشکی در ۰٫۹- مگاپاسکال (D_3). تیمار پلاسما با قدرت ۱۰۰ وات در زمان سه دقیقه (P_1)، قدرت ۱۰۰ وات در زمان پنج دقیقه (P_2)، قدرت ۱۰۰ وات در زمان نه دقیقه (P_3)، قدرت ۲۰۰ وات در زمان سه دقیقه (P_4)، قدرت ۲۰۰ وات در زمان پنج دقیقه (P_5)، قدرت ۲۰۰ وات در زمان نه دقیقه (P_6) و بدون تیمار پلاسما و زمان به عنوان شاهد (P_7).

پیش‌تیمار بذر با پلاسما سبب افزایش در شاخص‌های مرتبط با رشد گیاهچه و مصرف مواد ذخیره‌ای می‌شود که در نتیجه سبب بهبود در شاخص‌های جوانه‌زنی می‌گردد. هم‌چنین می‌توان گفت پیش‌تیمار بذر با پلاسما از طریق کوتاه کردن مدت زمان سوخت و ساز (دوفاز به جای سه فاز جوانه‌زنی) [۲۵]، فعالیت آنزیم‌ها و پروتئین [۲۶] و تأثیر بر فسفولیپیدهای سلول غشایی [۲۷] موجب تسریع جوانه‌زنی و مقاومت تحت شرایط تنش می‌گردد. پرایمینگ بذر با پلاسما به دلیل این‌که یک سری تغییراتی را در بذور تیمار شده شده نسبت به تیمار نشده ایجاد می‌کند, رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه را تغییر می‌دهد که میزان این تغییرات بسته به شدت و مدت زمان تابش پلاسما متفاوت می‌باشد [۲۸].

تأثیر بهبود پلاسمای سرد بر رشد اولیه گیاه در گونه‌های مختلف از جمله چغندرقند [۲۹]، گندم [۳۰] و [۳۱] نخود گزارش شده است. هم‌چنین تعدادی از مطالعات نشان داده‌اند که تیمار با پلاسما موجب رشد گیاهچه و رشد گیاهان می‌شود [۳۲-۳۴]. گزارش دیگری از نتایج لینگ و همکاران [۳۵] گزارش شده است که نشان می‌دهد تیمار پلاسمای سرد نقش

مهمی در کاهش آسیب اکسیداتیو ایفا می‌کند و به حفظ فعالیت‌های متابولیک فیزیولوژیکی طبیعی کمک می‌کند و منجر به بهبود رشد گیاهچه کلزا تحت تنش خشکی می‌شود.

تیمار با پلاسمای سرد شرایط پیچیده‌ای را فراهم می‌کند که در آن سلول‌ها در معرض اشعه ماوراء بنفش و مولکول‌های فعال زیستی قرار می‌گیرند که در میان آن‌ها NO مهم‌ترین است. به نظر می‌رسد ترکیب احتمالی ممکن است الیگوساکارین باشد که عمدتاً از تغییرات ساختاری ناشی از پلاسما در دیواره سلولی منشأ می‌گیرد. برخی از الیگوساکارین‌ها به عنوان محرک شناخته می‌شوند که اثرات سیگنالینگ را اعمال می‌کنند و مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مختلفی را القا می‌کنند که توسط آن سیستم دفاعی فعال می‌شود و از این‌رو مقاومت گیاه در برابر عوامل تنش مختلف بهبود می‌یابد [۳۶]. هم‌چنین در کار دیگری گزارش شده است که از دلایل افزایش طول ساقه‌چه در تیمارهای پلاسما، می‌توان به افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در رشد سلولی و طویل شدن سلولی، افزایش مصرف مواد ذخیره‌ای بذر و افزایش انرژی در بذور تیمار شده با پلاسما اشاره کرد [۳۷]. لینگ و همکاران [۳۵] گزارش کردند که ارتباط مستقیمی بین رطوبت‌پذیری و جوانه‌زنی بذر وجود دارد. آن‌ها نشان دادند که رطوبت‌پذیری بذر با تیمار پلاسمای سرد بهبود می‌یابد، که برای بهبود جوانه‌زنی بذر با افزایش جذب آب تحت تنش خشکی مهم بود. قرار گرفتن دانه‌های کلزا در تیمارهای پلاسمایی ۲۰۰ وات در زمان نه دقیقه اثر تحریک‌کننده‌ای را با توجه به درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها در کلزا نشان داد. گروه‌های عاملی حاوی O_2 سطح بذرها را غنی کرده‌اند که منجر به بهبود ترشوندگی و در نهایت جوانه‌زنی بهتر می‌گردد [۳۸]. هم‌چنین گزارش شد که نیتروژن در سطح بذر موجب افزایش جوانه‌زنی می‌شود که با یافته‌های ما مطابقت دارد [۳۹].

تجمع H_2O_2 در فیزیولوژی بذر در طول جذب، مراحل اولیه جوانه‌زنی و زمانی که بذرها هیدراته می‌شوند گزارش شده است. علاوه بر این، H_2O_2 همراه با سایر ROS اغلب با زوال بذر و از دست دادن بنیه بذر همراه است. در طول جوانه‌زنی، تجزیه نشاسته در جنین انجام می‌شود که منجر به ترشح آنزیم‌های تخریب‌کننده مانند α-آمیلاز می‌شود می‌گردد. α-آمیلاز در لایه آلورون نقش مهمی در هیدرولیز نشاسته آندوسپرم به قندهای قابل متابولیسم ایفا می‌کند که انرژی را برای رشد ریشه‌ها و اندام هوایی فراهم می‌کند [۴۰]. افزایش درصد جوانه‌زنی و بهبود رشد گیاهچه در بذر کلزا به دلیل پلاسمای ۲۰۰ وات در زمان نه دقیقه نشان می‌دهد که این سطح پلاسما ممکن است در القای جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی بالا در کلزا نقش داشته باشد.

۴. نتیجه‌گیری نهایی

در نهایت، نتیجه‌گیری می‌شود که تیمارهای پلاسمای سرد آسیب تنش خشکی را در کلزا کاهش می‌دهد. جوانه‌زنی بذر و بهبود رشد گیاهچه به دلیل تیمار پلاسمای سرد بود. بنابراین می‌توان از تیمار پلاسمای سرد به روشی بهبودبخش برای محافظت از گیاهچه‌های کلزا در برابر آسیب‌های ناشی از تنش خشکی استفاده کرد. در این مطالعه، تیمارهای پلاسمایی عملکردهای متفاوتی را تولید کردند. با این حال، مطالعات بیش‌تری برای بررسی اثرات پلاسمای سرد بر رشد و عملکرد کلزا در شرایط تنش خشکی مورد نیاز است.

مراجع

1. Taylor A.G, Allen P.S, Bennett M.A, Bradford K.J, Burris J.S, Misra M.K. Seed enhancements. Seed Sci. Res. 1998;8:245–256.
2. Halmer P. Seed Technology and Seed Enhancement. Acta Hortic. 2008;771:17–26. Processes 2020;8:1002 15 of 20.
3. Elsayed B.B, Hassan M.M, El Ramady H.R. Phylogenetic and characterization of salt-tolerant rhizobial strain nodulating faba bean plants. Afr. J. Biotechnol. 2013;12:4324–4337.
4. Araújo S.D, Paparella S, Dondi D, Bentivoglio A, Carbonera D, Balestrazzi A. Physical methods for seed invigoration: Advantages and challenges in seed technology. Front. Plant Sci. 2016;7:646.
5. Attri P, Razzokov J, Yusupov M, Koga K, Shiratani M, Bogaerts A. Influence of osmolytes and ionic liquids on the Bacteriorhodopsin structure in the absence and presence of oxidative stress: A combined experimental and computational study. Int. J. Biol. Macromol. 2020;148:657–665.
6. Attri P, Kim M, Choi E.H, Cho A.E, Koga K, Shiratani M. Impact of an ionic liquid on protein thermodynamics in the presence of cold atmospheric plasma and gamma rays. Phys. Chem. Chem. Phys. 2017;19:25277–25288.
7. Attri P, Tochikubo F, Park J.H, Choi E.H, Koga K, Shiratani M. Impact of Gamma rays and DBD plasma treatments on wastewater treatment. Sci. Rep. 2018;8:2926.
8. Park J.H, Kim M, Shiratani M, Cho A.E, Choi E.H, Attri P. Variation in structure of proteins by adjusting reactive oxygen and nitrogen species generated from dielectric barrier discharge jet. Sci. Rep. 2016;6:35883.

9. Kumar N, Attri P, Choi E.H, Sup Uhm H. Influence of water vapour with non-thermal plasma jet on the apoptosis of SK-BR-3 breast cancer cells. RSC Adv. 2015;5:14670–14677.
10. Ohta T. Plasma in agriculture. Cold plasma in food and agriculture. 2016;205-221.
11. Attri P, Ishikawa K, Okumura T, Koga K, Shiratani M. Plasmaagriculture from laboratory to farm: A review. Processes. 2020;8(8):1002.
12. Zhang S, Chao Y, Zhang C, Cheng J, Li J, Ma N. Earthworms enhanced winter oilseed rape (Brassica napus L.) growth and nitrogen uptake. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2010;139(4):463-468.
13. Finch-Savage W.E, Bassel G.W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. Journal of Experimental Botany. 2016;67(3):567-591
14. Munz E, Rolletschek H, Oeltze-Jafra S, Fuchs J, Guendel A, Neuberger T, Ortleb S, Jakob P.M, Borisjuk L. A functional imaging study of germinating oilseed rape seed. New Phytologist. 2017;216(4)1181-1190.
15. Nishime T.M.C, Werner J, Wannicke N, Mui T.S.M, Kostov K.G, Weltmann K.D, Brust H. Characterization and Optimization of a Conical Corona Reactor for Seed Treatment of Rapeseed. Applied Sciences. 2022;12(7):3292.
16. Ling L.I, Jiangang L.I, Hanliang S.H.A.O, Yuanhua D.O.N.G. Effects of low-vacuum helium cold plasma treatment on seed germination, plant growth and yield of oilseed rape. Plasma Science and Technology. 2018;20(9):095502.
17. Islam S, Farjana B.O, Sajib S.A, Nepal C.R, Reza A, Hasan M, Talukder M.R, Kabir A.H. Effects of LPDBD plasma and plasma activated water on germination and growth in rapeseed (Brassica napus). Gesunde Pflanzen. 2019;71(3):175-185.
18. Ling L, Jiangang L, Minchong S, Chunlei Z, Yuanhua D. Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress. Scientific Reports. 2015:5(1):13033.
19. Jamaati-e-Somarin S, Zabihi-e-Mahmoodabad R, Yari A. Reaction of canola cultivars (Brassica napus L.) to water deficit on seed germination and seedling growth stage. Word Applied Science Journal. 2010;10:699-702.
20. Omidi H, Khazaei F, Hamzi Alvanagh S, Heidari-Sharifabad H. Improvement of seed germination traits in canola (Brassica napus L.) as affected by saline and drought stresses. Plant Ecophysiology. 2009;3:151-158.
21. Alebrahim M.T, Janmohammadi M, Sharifzade F, Tokasi S, Evaluation of salinity and drought stress effects on germination and early growth of maize inbred lines (Zea mays L.). Electronic Journal of Crop Production. 2008;1(2):35-43.
22. Gholizadeh E, Aynaband A, Hassanzadeh A, Noormohammadi G, Bernousi I. Effect of drought stress, nitrogen amount and plant densities of grain yield, rapidity and period of grain filling in sunflower. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 2012;22(1):129-143.
23. Shekari F, Khoie R, Javanshir A, Alyari H, Shkiba M.R. Effect of Sodium chloride salinity on germination of rapeseed cultivars. Turkish Journal of Field Crops. 2000;5:21-28.
24. Benadjaoud A, Dadach M, El-Keblawy A, Mehdadi Z. Impacts of osmopriming on mitigation of the negative effects of salinity and water stress in seed germination of the aromatic plant Lavandula stoechas L. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. 2022;31:100407.
25. Nelson C.P. Water potential: The key to successful seed priming. Decagon Devices, Inc. AN4101- 10. 2000.
26. Ansari O, Azadi M.S, Sharif-Zadeh F, Younesi E. Effect of hormone priming on germination characteristics and enzyme activity of mountain rye (Secale montanum) seeds under drought stress conditions. Journal of Stress Physiology & Biochemistry. 2013;9(3):61-71.
27. Islam S, Farjana B.O, Sajib S.A, Nepal C.R, Reza A, Hasan M, Talukder M.R, Kabir A.H. Effects of LPDBD plasma and plasma activated water on germination and growth in rapeseed (Brassica napus). Gesunde Pflanzen. 2019;71(3):175-185.
28. Iranbakhsh A, Ghoranneviss M, Oraghi Ardebili Z, Oraghi Ardebili N, Hesami Tackallou S, Nikmaram H. Non-thermal plasma modified growth and physiology in Triticum aestivum via generated signaling molecules and UV radiation. Biol Plant. 2017;61(4):702–708.
29. Será B, Stranák V, Serý M, Tichý M, Spatenka P. Germination of Chenopodium album in response to microwave plasma treatment. Plasma Sci Technol. 2008;10:506.
30. Iranbakhsh A, Ardebili N.O, Ardebili Z.O, Shafaati M, Ghoranneviss M.Non-thermal plasma induced expression of Heat Shock Factor A4A and Improved Wheat (Triticum aestivum L.) growth and resistance against Salt Stress. Plasma Chem Plasma Process. 2018;38:29-44.
31. Stolárik T, Henselová M, Martinka M, Novák O, Zahoranová A, Černák M. Effect of low-temperature plasma on the structure of seeds, growth and metabolism of endogenous phytohormones in pea (Pisum sativum L). Plasma Chem Plasma Process. 2015;35:659-676.
32. Zhou Z.W, Huang Y.F, Yang S.Z, Chen W. Introduction of a new atmospheric pressure plasma device and application on tomato seeds. Agri. Sci. 2011;2:23-27.
33. Selcuk M, Oksuz L, Basaran P. Decontamination of grains and legumes infected with Aspergillus spp. and Penicillum spp. by cold plasma treatment. Bioresource Technol. 2008;99:5104–5109.
34. Yin M.Q, Huang M.J, Ma B.Z, Ma T.C. Stimulating effects of seed treatment by magnetized plasma on tomato growth and yield. Plasma Sci. Techno. 2005;7:3143-3147.

35. Ling L, Jiangang L, Minchong S, Chunlei Z, Yuanhua D. Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress. Scientific Reports. 2015;5:13033.
36. Fry S.C, Aldington S, Hetherington P.R, Aitken J. Oligosaccharides as signals and substrates in the plant cell wall. Plant Physiol. 1993;103:1.
37. Iranbakhsh A, Oraghi Ardebili Z, Oraghi Ardebili N, Ghoranneviss M, Safari N. Cold plasma relieved toxicity signs of nano zinc oxide in Capsicum annuum cayenne via modifying growth, differentiation, and physiology. Acta Physiologiae Plantarum. 2018;40:154.
38. Roy N, Hasan M, Talukder M, Hossain M, Chowdhury A. Prospective applications of low frequency glow discharge plasmas on enhanced germination, growth and yield of wheat. Plasma Chemistry and Plasma Processing. 2018;38:13–28.
39. Volin J.C, Denes F.S, Young R.A, Park S.M. Modification of seed germination performance through cold plasma chemistry technology. Crop Science. 2000;40:1706–1718.
40. Islam S, Binta Omar F, Ahmed Sajib S, Chandra Roy N, Reza A, Hasan M, Rashid Talukder M, Humayan Kabir A. Effects of LPDBD plasma and plasma activated water on germination and growth in rapeseed (Brassica napus). Gesunde Pflanzen. 2019.

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
خلیل‌زاده، راضیه، خلیل‌زاده، الناز، دهقانی، زهره، پیرزاد، علیرضا، چخماچی، امیر. (۱۴۰۳)، بررسی صفات جوانه‌زنی دانه روغنی کلزا در پاسخ به تنش خشکی در اثر تیمار غیرمستقیم با پلاسمای سرد کم فشار. مجله علوم و فنون هسته‌ای، ۱۰۹(۳)، ۷۵-۸۳. DOI: https://doi.org/10.24200/nst.2024.1592.
Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1592.html