

بررسی برخی صفات جوانه زنی بذر کلزا تحت تنش شوری، در اثر تیمار غیرمستقیم با

پلاسمای سرد کم فشار

INC29-1317

راضیه خلیل زاده^۱، الناز خلیل زاده^۲، زهره دهقانی^{۲*}، امیر چخماچی^۲، علیرضا پیرزاد^۱

۱ گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲ پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران- ایران

چکیده:

این پژوهش به منظور بررسی نقش پرایمینگ بذر با استفاده از پلاسمای سرد، بر تحمل تنش شوری در گیاه کلزا در مرحله جوانه زنی و رشد اولیه گیاهچه، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. تیمارهای بذر قبل از کاشت، در راکتور پلاسمایی RF با فرکانس ۱۳/۵۶ مگا هرتز، توان متغیر بین ۰ تا ۶۰۰ وات و در فشار پایین انجام پذیرفت. علاوه بر این ترکیب سه گاز اکسیژن، آرگون و نیتروژن (به نسبت ۱، ۲ و ۲ به ترتیب) به عنوان گاز در حال کار استفاده شد. تیمارهای آزمایشی سه سطح شوری و هفت سطح پلاسما بودند. تنش شوری به طور معنی‌داری سبب کاهش درصد جوانه زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه گردید. پرایمینگ بذر با پلاسمای موجب کاهش اثرات منفی تنش شوری در تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده گردید. قرار گرفتن بذور کلزا در تیمارهای پلاسمایی ۲۰۰ وات در زمان ۹ دقیقه بیشترین اثر تحریک‌کننده‌ای را با توجه به درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها در کلزا نشان داد.

کلیدواژه‌ها: پلاسمای سرد، تنش شوری، جوانه زنی، کلزا

Investigation of some germination characteristics of rapeseed seed under salt stress, as a result of indirect treatment with low pressure cold plasma

Razieh Khalilzadeg¹, Elnaz Khalilzadeh², Zohreh Dehghani^{2*}, Amir Chakhmachi², Alireza Pirzad¹

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2. The Plasma Physics and Fusion Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran

Abstract:

This study was conducted to examine the effect of seed priming with cold plasma on salinity stress tolerance in germination and early growth stages of rapeseed, as a factorial experiment based on completely randomized design in 1401. The experimental treatments were three salinity levels and seven plasma levels. Salinity stress was significantly decreased germination percentage, radicle length, plumule length, radicle dry weight, plumule dry weight. Seed priming with plasma reduced the negative effects of salinity stress in all measured characteristics. 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, salt stress, germination, rapeseed

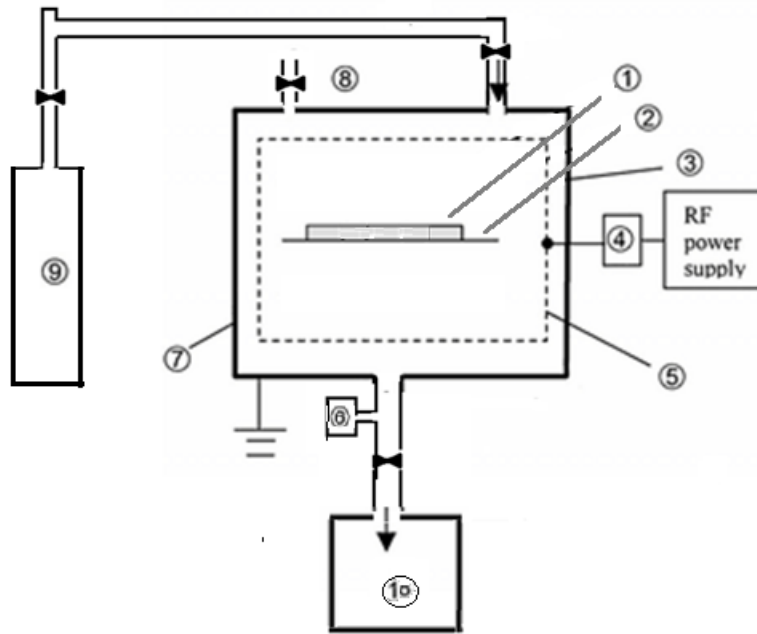
۱. مقدمه

دانه روغنی کلزا یکی از مهمترین محصولات دانه روغنی است که در سراسر جهان عمدتاً برای روغن خوراکی و سوخت تجدیدپذیر کشت می‌شود. با اینکه تولید کلزا در سالهای اخیر رشد قابل توجهی داشته است اما قادر به پاسخگویی سریع به تقاضای مصرفی در حال افزایش نیست [۱]. از آنجایی که میزان زمین زیر کشت به سختی افزایش می‌یابد، تنها راه برای رفع کمبود دانه های روغنی کلزا، بهبود عملکرد محصول است. جوانه زنی، رشد و عملکرد تا حد زیادی توسط خواص بذر تعیین می‌شود [۲]. دلایل اصلی جوانه زنی کم دانه های روغنی کلزا اغلب به آلودگی میکروبی و شرایط تنش مربوط می‌شود [۳]. روش‌های سنتی مورد استفاده برای ترویج جوانه‌زنی بذر و عملکرد محصول عبارتند از: (۱) کوددهی و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، (۲) میدان مغناطیسی و نور فرابنفش [۴]. با این حال، این روش‌ها دارای محدودیت‌هایی مانند مشکلات زیست محیطی و اقتصادی هستند. بنابراین، یافتن روش‌های ساده و اقتصادی برای تقویت جوانه‌زنی، رشد و عملکرد دانه‌های روغنی کلزا ضروری است. فناوری پلاسما سرد یکی از این روش‌ها می‌باشد [۵ و ۶]. بسیاری از مطالعات نشان دادند که پلاسما به طور قابل توجهی میکروب‌های سطح بذر را از بین می‌برد [۷]، و باعث افزایش ترشوندگی، ظرفیت جذب آب بذر [۸] و بهبود جوانه زنی بذر می‌شود [۹]. چندین گزارش نشان داد که پلاسما باعث افزایش استفاده از ذخیره بذر و فعالیت آلفا آمیلاز در طول جوانه زنی می‌شود [۱۰]. پلاسما همچنین محتوای رنگدانه فتوسنتزی [۱۱] و فعالیت سوپراکسیداز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز را افزایش می‌دهد [۱۲]. در نتیجه، پلاسما به بهبود رشد گیاه و عملکرد محصول کمک می‌کند. در پژوهشی تیمار پلاسمای DBD با قدرت‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ به مدت ۱۵ ثانیه اثرات مثبتی بر جوانه زنی بذر، و برخی صفات جوانه زنی در جو نشان دادند [۱۳]. این پژوهشگران گزارش کردند که تیمار پلاسمای DBD با قدرت ۸۰ موجب افزایش $13/35\%$ ، $66/83\%$ ، $38/55\%$ و $31/93\%$ به ترتیب در جوانه زنی بذر، شاخص قدرت، ارتفاع ساقه، و طول ریشه گردید. همچنین، گروهی دیگر [۱۴] مطالعه‌ای را برای پاسخ گیاه به جوانه زنی بذر با میدان‌های الکترومغناطیسی با پلاسمای سرد در گیاه مریم گلی انجام دادند. تیمارهای پلاسما سرد وزن تازه اندام هوایی (۴۹٪)، وزن تازه ریشه (۴۱٪) و طول ریشه (۵۶٪) را افزایش داد. اهمیت زراعی فناوری پلاسما در گیاه کلزا نشان داده شده است [۱۵، ۲۱]. به دلیل اهمیت پرایمینگ بذر با پلاسما و نقش آن در بهبود رشد گیاه در شرایط تنش شوری و کمی بودن بررسی‌های انجام شده در خصوص بر هم کنش توأم این عوامل موجب گردید تا تأثیر آن‌ها بر برخی شاخص‌های جوانه زنی کلزا در شرایط تنش شوری مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲. مواد و روش‌ها:

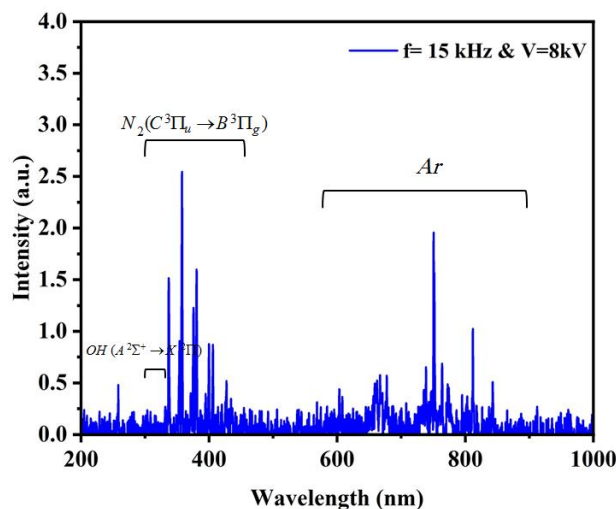
۲.۱. منبع پلاسمایی:

تیمارهای بذر قبل از کاشت در یک راکتور پلاسمای RF با شکل استوانه‌ای که شماتیک آن در شکل ۱ آمده است انجام می‌شود. تخلیه بین دو الکترود استوانه‌ای (الکتروود دوم توری شکل می‌باشد) که از جنس فولاد ضد زنگ 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 ۱، ۲، و ۲ 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 خلاء می‌شود. دانه‌ها در سطح یک ظرف استریل شده قرار داده شدند و مشخص است که به صورت غیرمستقیم تحت تیمار پلاسما می‌باشند.



شکل ۱: نمونه چیده شده، (۲) سینی‌های نگه‌دارنده، (۳) منطقه پلاسما، (۴) شبکه تطبیق، (۵) الکتروود شبکه ای، (۶) فشار سنچ، (۷) الکتروود (چمبر)، (۸) پورت هوا دهی، (۹) سیستم تزریق گاز (شامل کپسول گاز، لوله های ارتباطی و شیر های سوزنی)، (۱۰) پمپ خلاء

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 طیف سنچ مدل ۷۹۰۰ (محصول شرکت فناوران فیزیک نوین) با وضوح طیفی ۱ نانومتر، در محدوده طیفی ۲۰۰-۱۱۰۰ nm برای اندازه گیری 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 تا ۱۰۰۰ nm 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، ۲ به ترتیب) 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 ۲: طیف انتشار نوری را در محدوده ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ nm

۲.۲. روش انجام کار

آزمایش به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح کاملاً تصادفی در سه سطح شوری (۲، ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر NaCl) و هفت سطح پلاسما (قدرت ۱۰۰ وات در زمان ۳ دقیقه، قدرت ۱۰۰ وات در زمان ۵ دقیقه، قدرت ۱۰۰ وات در زمان ۹ دقیقه، قدرت ۲۰۰ وات در زمان ۳ دقیقه، قدرت ۲۰۰ وات در زمان ۵ دقیقه، قدرت ۲۰۰ وات در زمان ۹ دقیقه و بدون تیمار پلاسما و زمان به عنوان شاهد) بودند. رفتار جوانه زنی بذر کلزا رقم دلگان تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی در ظروف پتری دیش در دمای 20 ± 2 درجه سانتیگراد در ژرمیناتور در سه تکرار بررسی شد. تعداد بذر جوانه زده هر روز شمارش شدند. بذرهایی که طول ریشه‌چه آنها ۲ 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 جوانه زنی از روش سلطانی و همکاران [۱۵] محاسبه شد. در نهایت داده‌ها با نرم افزار SAS تجزیه شد.

۳. نتایج و بحث

نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیشترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در پلاسما ۲۰۰ وات در زمان ۹ دقیقه در پایین‌ترین سطح شوری (شوری ۲ دسی زیمنس بر متر) مشاهده گردید. در شوری ۱۲ دسی زیمنس تیمار پلاسما ۱۰۰ وات در زمان ۹ دقیقه بیشترین طول ریشه‌چه را داشت (جدول ۱). پلاسما ۲۰۰ وات در زمان ۳ دقیقه در شوری ۶ دسی زیمنس موجب افزایش طول ساقه‌چه گردید. نتایج این پژوهش حاکی از تاثیر منفی شوری بر رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه بود، با این حال، این کاهش در تیمار پلاسما ۱۰۰ وات در زمان ۹ دقیقه با شیب کمتری همراه بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در تیمار پلاسما ۲۰۰ وات در زمان ۹ دقیقه در سطوح شوری ۲ و ۶ دسی زیمنس بر متر به طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۱). اگرچه پرایمینگ پلاسما سبب افزایش وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در بالاترین سطح شوری گردید، ولی این افزایش در تیمار پلاسما ۲۰۰ وات در زمان ۹ دقیقه معنی‌دار بود، به نحوی که در تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس موجب افزایش ۹۱ درصدی وزن خشک ریشه‌چه گردید (جدول ۱).

با افزایش شوری تاثیر سطوح مختلف پلاسما بر درصد جوانه زنی معنی‌دار بود. در تیمار شوری سطوح ۲ و ۶ دسی زیمنس اختلاف بین سطوح مختلف پلاسما به غیر از پلاسما ۱۰۰ وات در زمان ۵ دقیقه معنی‌دار نبود (جدول ۱). در پلاسما ۲۰۰ وات در زمان ۹ دقیقه کاهش در میزان درصد جوانه زنی در سطوح بالای شوری مشاهده نگردید (جدول ۱).

در مطالعه حاضر، جوانه زنی بذر کلزا تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفت، ولی به طور قابل توجهی با تیمار پلاسما سرد بهبود یافت که با نتایج سلوک و همکاران [۱۶] مطابقت داشت. به نظر می‌رسد که تیمار پلاسما سرد توانایی جذب بذر را افزایش می‌دهد که ممکن است به افزایش تورم بذر و در نتیجه جوانه زنی گیاه در شرایط تنش کمک کند [۱۷]. مشخص شده است که وضعیت رشد گیاهان بر مقاومت آنها در برابر تنش تأثیر می‌گذارد، زیرا رشد بهتر گیاهچه می‌تواند مقاومت گیاه را در برابر تنش افزایش دهد [۱۸]. نتایج ما نشان داد که بهبود مقاومت به تنش شوری در گیاهچه‌های کلزا پیش تیمار شده با پلاسما سرد تا حدی به دلیل بهبود رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن خشک آنها بود. لینگ و همکاران [۱۸] گزارش کردند که ارتباط مستقیمی بین رطوبت پذیری و جوانه زنی بذر وجود دارد. آنها نشان دادند که رطوبت پذیری بذر با تیمار پلاسما سرد بهبود می‌یابد، که برای بهبود جوانه زنی بذر با افزایش جذب آب تحت تنش خشکی مهم بود. قرار گرفتن دانه‌های کلزا در تیمارهای پلاسما ۲۰۰ وات در زمان ۹ دقیقه اثر تحریک‌کننده‌ای را با توجه به درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها در کلزا نشان داد. رادیکال‌های آزاد (گروه‌های عاملی حاوی O_2 و OH) سطح بذرها را غنی کرده‌اند که منجر به بهبود ترشوندگی و در نهایت جوانه‌زنی بهتر می‌گردد [۱۹]. همچنین گزارش شد که نیتروژن در سطح بذر به دلیل شرکت در متابولیسم گونه‌های واکنش‌پذیر موجب افزایش جوانه زنی می‌شود که با یافته

های ما مطابقت دارد [۲۰]. همچنین گزارش دیگری از نتایج لینگ و همکاران [۱۸] گزارش شده است که نشان می‌دهد تیمار پلاسما سرد نقش مهمی در کاهش آسیب اکسیداتیو ایفا می‌کند و به حفظ فعالیت های متابولیک فیزیولوژیکی طبیعی کمک می‌کند و منجر به بهبود رشد گیاهچه کلزا تحت تنش خشکی می‌شود.

تجمع H_2O_2 در فیزیولوژی بذر در طول جذب، مراحل اولیه جوانه زنی و زمانی که بذر ها هیدراته می‌شوند گزارش شده است. علاوه بر این، H_2O_2 همراه با سایر ROS به دلیل آسیب به غشا سلولی، اغلب با زوال بذر و از دست دادن بنیه بذر همراه است. در طول جوانه زنی، تجزیه نشاسته در جنین انجام می‌شود که منجر به ترشح آنزیم های تخریب کننده 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 ریشه ها و اندام هوایی فراهم می‌کند [۲۱]. در شرایط تنش شوری کم تیمار پلاسما تاثیر معنی داری بر درصد جوانه زنی نداشت. افزایش درصد جوانه زنی و بهبود رشد گیاهچه در بذر کلزا به دلیل پلاسما ۲۰۰ وات در زمان ۹ دقیقه نشان می‌دهد که این سطح پلاسما ممکن است در القای جوانه زنی در شرایط تنش شوری بالا در کلزا نقش داشته باشد.

جدول ۱: مقایسه میانگین اثر متقابل پلاسما و شوری بر برخی صفات کلزا

تیمارها	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم)	درصد جوانه زنی (درصد)
P ₁	۱۳/۳۲ ^{bc}	۵/۹۲ ^c	۵/۷۹ ^{bc}	۲۹/۷۳ ^a	۱۰۰ ^a
P ₂	۷/۳۵ ^{gh}	۴/۸۲ ^{def}	۱/۳۲ ^{de}	۲۲/۴۲ ^{gh}	۹۵ ^c
P ₃	۱۴/۲۵ ^{ab}	۷/۴۴ ^{ab}	۵/۸۳ ^{bc}	۲۴/۳۶ ^{ef}	۱۰۰ ^a
P ₄	۸/۱۴ ^{gf}	۴/۳۳ ^{gf}	۲/۵۳ ^d	۲۶/۲۰ ^{cd}	۹۸ ^{abc}
P ₅	۹/۲۵ ^f	۳/۱۲ ^h	۱/۳۹ ^{de}	۲۷/۸۳ ^b	۹۹ ^{ab}
P ₆	۱۴/۸۱ ^a	۷/۶۵ ^a	۶/۵۹ ^a	۳۰/۳۵ ^a	۱۰۰ ^a
P ₇	۴/۳۰ ^{kj}	۲/۱۳ ⁱ	۰/۷۵ ^e	۲۰/۵۱ ⁱ	۱۰۰ ^a
P ₁	۱۲/۷۵ ^{cd}	۵/۹۳ ^c	۵/۷۴ ^{bc}	۲۹/۵۱ ^a	۱۰۰ ^a
P ₂	۵/۵۲ ^{ij}	۴/۵۹ ^{ef}	۱/۲۷ ^{de}	۲۳/۴۱ ^{fg}	۹۵ ^c
P ₃	۱۵/۱۶ ^a	۷/۴۳ ^{ab}	۵/۷۵ ^{bc}	۲۳/۴۱ ^{fg}	۱۰۰ ^a
P ₄	۶/۲۹ ^{hi}	۴/۵۴ ^{efg}	۲/۶۲ ^d	۲۵/۳۲ ^{de}	۹۸ ^{abc}
P ₅	۷/۳۸ ^{gh}	۲/۲۲ ⁱ	۱/۴۲ ^{de}	۲۴/۸۷ ^e	۹۱ ^d
P ₆	۱۳/۳۷ ^{bc}	۶/۸۷ ^b	۶/۵۹ ^a	۲۹/۷۲ ^a	۱۰۰ ^a
P ₇	۳/۲۲ ^{kl}	۱/۸۵ ^{ij}	۰/۶۴ ^e	۱۸/۲۷ ^j	۷۳ ^f
P ₁	۱۱/۱۱ ^e	۵/۲۰ ^{de}	۴/۹۳ ^c	۲۷/۱۲ ^{bc}	۹۸ ^{abc}
P ₂	۵/۳۳ ^{ij}	۳/۸۹ ^g	۰/۴۱ ^e	۲۱/۸۷ ^h	۷۵ ^f
P ₃	۱۳/۷۹ ^{abc}	۶/۹۹ ^{ab}	۵/۱۵ ^{bc}	۲۱/۲۲ ^{hi}	۹۶ ^{bc}
P ₄	۵/۱۱ ^{ij}	۲/۱۲ ⁱ	۱/۸۵ ^{de}	۲۵/۳۲ ^{de}	۸۵ ^e
P ₅	۴/۴۲ ^{jk}	۱/۵۳ ^{ij}	۰/۸۷ ^e	۲۶/۷۸ ^{bc}	۸۹ ^d
P ₆	۱۱/۷۵ ^{de}	۵/۳۲ ^{cd}	۵/۸۳ ^{bc}	۲۷/۸۳ ^b	۱۰۰ ^a
P ₇	۲/۱۰ ^l	۱/۴۳ ^j	۰/۵۳ ^e	۱۷/۸۶ ⁿ	۶۵ ^g

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD ندارند؛ شوری ۲ دسی زیمنس بر متر NaCl (S₁)، شوری ۶ دسی زیمنس بر متر NaCl (S₂)، شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر NaCl (S₃). تیمار پلاسما با قدرت ۱۰۰ در زمان ۳ دقیقه (P₁)، قدرت ۱۰۰ در زمان ۵ دقیقه (P₂)، قدرت ۱۰۰ در زمان ۹ دقیقه (P₃)، قدرت ۲۰۰ در زمان ۳ دقیقه (P₄)، قدرت ۲۰۰ در زمان ۵ دقیقه (P₅)، قدرت ۲۰۰ در زمان ۹ دقیقه (P₆) و بدون تیمار پلاسما و زمان به عنوان شاهد (P₇).

در نهایت، نتیجه گیری می‌شود که تیمارهای پلاسمای سرد آسیب تنش شوری را در کلزا کاهش می‌دهد. جوانه زنی بذر و بهبود رشد گیاهچه به دلیل تیمار پلاسمای سرد بود. بنابراین می‌توان از تیمار پلاسمای سرد به روشی بهبود بخش برای محافظت از گیاهچه‌های کلزا در برابر آسیب‌های ناشی از تنش شوری 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 شوری مورد نیاز است.

مراجع

- [1] Zhang, Shujie, Ying Chao, Chunlei Zhang, Jing Cheng, Jun Li, and Ni Ma. "Earthworms enhanced winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) growth and nitrogen uptake." *Agriculture, ecosystems & environment* 139, no. 4 (2010): 463-468.
- [2] Finch-Savage, William E., and George W. Bassel. "Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation." *Journal of experimental botany* 67, no. 3 (2016): 567-591.
- [3] Munz, Eberhard, Hardy Rolletschek, Steffen Oeltze-Jafra, Johannes Fuchs, André Guendel, Thomas Neuberger, Stefan Ortleb, Peter M. Jakob, and Ljudmilla Borisjuk. "A functional imaging study of germinating oilseed rape seed." *New Phytologist* 216, no. 4 (2017): 1181-1190. [4] Huang Y T et al 2017 *BMC Plant Biol.* 17 1
- [4] Fan, Chunfen, Shengqiu Feng, Jiangfeng Huang, Yanting Wang, Leiming Wu, Xukai Li, Lingqiang Wang et al. "AtCesA8-driven OsSUS3 expression leads to largely enhanced biomass saccharification and lodging resistance by distinctively altering lignocellulose features in rice." *Biotechnology for Biofuels* 10, no. 1 (2017): 1-12.
- [5] Li, Ling, Jiangang Li, Minchong Shen, Jinfeng Hou, Hanliang Shao, Yuanhua Dong, and Jiafeng Jiang. "Improving seed germination and peanut yields by cold plasma treatment." *Plasma Science and Technology* 18, no. 10 (2016): 1027.
- [6] Jiang, Jiafeng, Xin He, Ling Li, Jiangang Li, Hanliang Shao, Qilai Xu, Renhong Ye, and Yuanhua Dong. "Effect of cold plasma treatment on seed germination and growth of wheat." *Plasma Science and Technology* 16, no. 1 (2014): 54.
- [7] Zahoranová, A., M. Henselová, D. Hudecová, B. Kaliňáková, D. Kováčik, V. Medvecká, and M. Černák. "Effect of cold atmospheric pressure plasma on the wheat seedlings vigor and on the inactivation of microorganisms on the seeds surface." *Plasma Chemistry and Plasma Processing* 36, no. 2 (2016): 397-414.
- [8] Bormashenko, Edward, Roman Gryniov, Yelena Bormashenko, and Elyashiv Drori. "Cold radiofrequency plasma treatment modifies wettability and germination speed of plant seeds." *Scientific reports* 2, no. 1 (2012): 1-8.
- [9] Meng, Yiran, Guangzhou Qu, Tiecheng Wang, Qihong Sun, Dongli Liang, and Shibin Hu. "Enhancement of germination and seedling growth of wheat seed using dielectric barrier discharge plasma with various gas sources." *Plasma Chemistry and Plasma Processing* 37, no. 4 (2017): 1105-1119.
- [10] Chen, Hua Han, Hung Chia Chang, Yu Kuo Chen, Chien Lun Hung, Su Yi Lin, and Yi Sheng Chen. "An improved process for high nutrition of germinated brown rice production: Low-pressure plasma." *Food chemistry* 191 (2016): 120-127.
- [11] Ji, Sang-Hye, Ki-Hong Choi, Anchalee Pengkit, Jun Sup Im, Ju Sung Kim, Yong Hee Kim, Yeunsoo Park et al. "Effects of high voltage nanosecond pulsed plasma and micro DBD plasma on seed germination, growth development and physiological activities in spinach." *Archives of biochemistry and biophysics* 605 (2016): 117-128.

[12] Jiang, Jiafeng, Yufang Lu, Jiangang Li, Ling Li, Xin He, Hanliang Shao, and Yuanhua Dong. "Effect of seed treatment by cold plasma on the resistance of tomato to *Ralstonia solanacearum* (bacterial wilt)." *Plos one* 9, no. 5 (2014): e97753.

[13] Mazandarani, Abolfazl, Shervin Goudarzi, Hassan Ghafoorifard, and Ali Eskandari. "Evaluation of DBD plasma effects on barley seed germination and seedling growth." *IEEE Transactions on Plasma Science* 48, no. 9 (2020): 3115-3121. [14] Ghaemi et al 2020. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 14(4), 323-328.

[14] Ghaemi, Maryam, Ahmad Majd, and Alireza Iranbakhsh. "Transcriptional responses following seed priming with cold plasma and electromagnetic field in *Salvia nemorosa* L." *Journal of Theoretical and Applied Physics* 14, no. 4 (2020): 323-328.

[15] Soltani, A., S. Galeshi, E. Zeinali, and N. Latifi. "Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size." *Seed Science and Technology* 30, no. 1 (2002): 51-60.

[16] Selcuk, Meral, Lutfi Oksuz, and Pervin Basaran. "Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment." *Bioresource technology* 99, no. 11 (2008): 5104-5109.

[17] Bormashenko, Edward, Roman Grynyov, Yelena Bormashenko, and Elyashiv Drori. "Cold radiofrequency plasma treatment modifies wettability and germination speed of plant seeds." *Scientific reports* 2, no. 1 (2012): 1-8. [18] Ling, L et al (2015). *Scientific Reports*, 5, 13033.

[18] Ling, Li, Li Jiangang, Shen Minchong, Zhang Chunlei, and Dong Yuanhua. "Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress." *Scientific reports* 5, no. 1 (2015): 1-10.

[19] Roy, N. C., M. M. Hasan, M. R. Talukder, M. D. Hossain, and A. N. Chowdhury. "Prospective applications of low frequency glow discharge plasmas on enhanced germination, growth and yield of wheat." *Plasma Chemistry and Plasma Processing* 38, no. 1 (2018): 13-28.

[20] Volin, John C., Ferencz S. Denes, Raymond A. Young, and Scott MT Park. "Modification of seed germination performance through cold plasma chemistry technology." *Crop science* 40, no. 6 (2000): 1706-1718.

[21] Islam, Shariful, Farjana Binta Omar, Salek Ahmed Sajib, Nepal Chandra Roy, Abu Reza, Mahmodol Hasan, Mamunur Rashid Talukder, and Ahmad Humayan Kabir. "Effects of LPDBD plasma and plasma activated water on germination and growth in rapeseed (*Brassica napus*)." *Gesunde Pflanzen* 71, no. 3 (2019): 175-185.