

تأثیر پلاسما سرد بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه ارقام مختلف سویا

خدیجه سیاحی^۱، امیر حسین ساری^۲، آیدین حمیدی^{۳*}، بهاره نوروزی^۴، فرشید حسینی^۵

۱. دانشجوی دکتری تخصصی فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
۲. استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
۳. دانشیار پژوهش سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال-کرج
۴. استادیار، زیست شناسی- فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
۵. استادیار پژوهش سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال-کرج
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۶)

چکیده

هدف از تحقیق حاضر، تعیین اثر مدت زمان تیمار پلاسما سرد بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه ارقام مختلف سویا (ساری، صبا، آرین، کتول و ویلیامز) بود. آزمایش در قالب طرح آشیانه‌ای - فاکتوریل با چهار تکرار در مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران و مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال در کرج اجرا گردید. بذرها به مدت ۳۰، ۶۰، ۱۸۰، ۳۰۰ و ۴۲۰ ثانیه با استفاده از گاز آرگون تحت تیمار پلاسما سرد قرار گرفتند. نتایج نشان داد صفات مورد مطالعه جوانه‌زنی و بیه بذرها ارقام در طبقات بذری تحت تأثیر معنی‌دار زمان تیمار بذر با پلاسما سرد قرار گرفتند. تیمار بذرها با پلاسما سرد موجب افزایش ۵۳/۳ درصدی پتانسیل جوانه‌زنی شده به طوری که کمترین پتانسیل جوانه‌زنی به میزان ۵۴/۵ درصد در بذرها تیمار شده به مدت ۶۰ ثانیه مشاهده گردید و بیشترین پتانسیل جوانه‌زنی به میزان ۹۶/۷ درصد مربوط به بذرها طبقه مادری رقم ویلیامز تیمار شده با پلاسما سرد به مدت ۱۸۰ و ۳۰۰ ثانیه و بذرها تیمار شده به مدت ۶۰ ثانیه طبقه گواهی شده همین رقم بود. تیمار بذرها با پلاسما به مدت ۳۰ و ۶۰ ثانیه تعداد گیاهچه‌های عادی بذرها طبقه مادری رقم ویلیامز تیمار شده با پلاسما سرد به مدت ۶۰ ثانیه طبقه گواهی شده مربوط به تیمار شاهد بود و کمترین متوسط زمان جوانه‌زنی به مدت ۱/۴ روز در تیمار بذرها طبقه مادری رقم ویلیامز با پلاسما سرد به مدت ۶۰ ثانیه مشاهده شد. کمترین طول گیاهچه به میزان ۲۲ سانتی‌متر بود و به تیمار شاهد بذرها طبقه گواهی شده رقم آرین و بیشترین طول گیاهچه به مقدار ۴۳/۹ سانتی‌متر به بذرها طبقه مادری رقم کتول، تیمار شده با پلاسما سرد به مدت ۱۸۰ ثانیه تعلق داشت که نشان دهنده افزایش حدود ۱۰۰ درصدی این صفت بود. کمترین و بیشترین وزن خشک گیاهچه نیز به ترتیب در تیمار شاهد بذرها طبقه مادری رقم ساری طبقه مادری به مقدار ۱ گرم و بذرها طبقه کتول طبقه مادری به مقدار ۱/۷ گرم تیمار شده با پلاسما سرد به مدت ۳۰۰ ثانیه مشاهده شد. نتایج مطالعه ما نشان داد که تیمار بذر ارقام تجاری سویا به مدت ۶۰ ثانیه بیشترین اثر مثبت بر روی خصوصیات جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه سویا داشت. بنابراین، تیمار بذرها با پلاسما سرد در مدت زمان مناسب می‌تواند روش مناسبی برای بهبود خصوصیات جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه در سویا باشد.

کلمات کلیدی: تخلیه سد دی الکتریک، شاخص جوانه‌زنی، طول ریشه چه، طول گیاهچه.

The effect of cold plasma on the characteristics of seed germination and seedling growth of different soybean cultivars

Kh. Sayahi¹, A.H. Sari², A. Hamidi^{3*}, Bahareh Nowruzi⁴, F. Hassani⁵

1. PhD Student of Physics, Department of Physics, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Assistant Professor of Physics, Department of Physics, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Research Associate Professor of Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Karaj
4. Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
5. Research Assistant Professor of Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Karaj
(Received: Apr. 26, 2022 – Accepted: Aug. 28, 2022)

Abstract

The purpose of this research was to determine the effect of cold plasma treatment duration on the characteristics of seed germination and seedling growth of different soybean cultivars (Sari, Saba, Arin, Katoool and Williams). An experiment in the form of a nest-factorial design with four replications was performed at the Plasma Physics Research Center of Islamic Azad University, Tehran Research Sciences Branch and Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI) in Karaj in 2021. Seeds were exposed to cold plasma with using Argon gas for 30, 60, 180, 300 and 420 seconds. The results of analysis of variance showed that the effect of cultivar, class within cultivar, time of plasma treatment and their interaction were significant for all traits. Seeds treatment by cold plasma caused germination potential 53.3 percent increase, as the lowest germination potential amount, 54.5 percent investigated in Arian cultivar certified seeds control treatment and the most germination potential amount 96.7 percent related to registered class of Williams cultivar seeds treated with cold plasma during 180 and 300 seconds the cultivar certified class seeds treated with cold plasma during 60 seconds. Katoool cultivar certified class seeds treatment with cold plasma during 30 and 60 seconds increased normal seedlings number from 76 to 100. The mean germination time amounts related to control treatment and the lowest mean germination time amount was 1.41 days and investigated in Williams cultivar registered class seeds treatment with cold plasma during 60 seconds. The lowest seedling length amount was 22 centimeters and belonged to Arian certified class seeds and the most seedling length was 43.9 centimeters and belonged to Katoool registered class seeds treated with cold plasma during 180 seconds that indicated about 100 percent increase of the trait. Also the lowest and the highest seedling dry weights were 1 and 1.7 gram investigated respectively in Sari cultivar registered class seeds control treatment and Katoool cultivar registered class seeds treated with cold plasma during 300 seconds. The results of our study showed that 60s treatment cold plasma had the most positive effect on seed germination characteristics and seedling growth of commercial soybean cultivars. Therefore, cold plasma at the appropriate time duration could be a suitable technique for improving seed germination and seedling growth properties in soybean.

Keywords: Dielectric barrier discharge, Germination index, Root length, Seedling length.

* Email: a.hamidi@areeo.ac.ir

مقدمه

سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) منبع بسیار ارزشمندی از پروتئین، روغن و سوخت زیستی محسوب می‌شود. در سال ۲۰۲۰، تولید سویا به ۳۵۰ میلیون تن (۶۸ درصد تولید جهانی) با سطح زیر کشت جهانی ۱۳۰ میلیون هکتار رسید (Švubová et al., 2021) که تقریباً ۴۵ درصد از این تولید مربوط به کشورهای آمریکای جنوبی شامل آرژانتین، برزیل و پاراگوئه بود (Pérez-Pizá et al., 2020). سویا حاوی مقادیر زیادی از ویتامین ب، عناصر ضروری، پروتئین‌ها و لیپیدها است و مصرف سویا منبع منحصر به فرد از مواد مغذی برای انسان و حیوانات است. ترکیب غذایی منحصر به فرد سویا، آن را به یک غذای فوق العاده تبدیل می‌کند که در سراسر جهان رشد می‌کند. با توجه به کاهش جوانه‌زنی بذر سویا، سطح وسیعی از زمین‌های زراعی برای کشت آن استفاده می‌شود. به همین دلیل، باید به دنبال راه حل‌های اکولوژیکی و اقتصادی سودمند جدید بود که سبب جوانه‌زنی بهتر بذر در محصولات مهم از نظر اقتصادی شده و در نتیجه عملکرد بالاتر در سطح کوچک‌تر را تضمین کند. استفاده از پلاسمای غیر حرارتی، یک روش مؤثر و امیدوارکننده در کشاورزی به نظر می‌رسد (Švubová et al., 2021).

پوشش بذرهای سویا ضخیم و نفوذناپذیر است که موجب جوانه‌زنی ضعیف، طولانی شدن زمان جوانه‌زنی و کم شدن یکنواختی جوانه‌زنی می‌شود و متعاقباً منجر به استقرار ضعیف و کاهش عملکرد می‌شود. افزایش در صد جوانه‌زنی بذر روشی مؤثر در افزایش تولید سویا است. روش‌های فیزیکی (تیمار مغناطیسی، نور خورشید، اشعه ماوراء بنفش و خیساندن در آب داغ) و روش‌های شیمیایی (مواد شیمیایی، قارچ کش‌ها و هورمون‌ها) موجب بهبود جوانه‌زنی بذر می‌شوند. اگر چه این روش‌ها می‌توانند تا حدودی موجب بهبود جوانه‌زنی گردند، اما زمان‌بر و پراکار بوده و تولید بقایای شیمیایی می‌کنند (Ling et al., 2014).

پلاسماهای غیرحرارتی (پلاسمای سرد) گازهای نیمه یونیزه (شبه خنثی) هستند که معمولاً توسط تخلیه الکتریکی با جریان کم تولید می‌شوند. آن‌ها توسط مولکول‌ها، اتم‌ها، یون‌ها، رادیکال‌های آزاد، گونه‌های واکنش‌پذیر، الکترون‌های پرانرژی، اشعه‌های فرابنفش (UV) و میدان‌های الکتریکی قوی تشکیل شده‌اند (Misra et al., 2016). با گذشت زمان به تدریج قوه نامیه و توان جوانه‌زنی بذر‌ها کاهش می‌یابد. (Hamidi et al., 2014).

برای بهبود عملکرد بذر و عملکرد محصول، تیمار با پلاسمای سرد روشی سریع، اقتصادی و عاری از آلودگی است (Dhayal et al., 2006; Tong et al., 2014). تیمار بذر با پلاسمای سرد، نقش مهمی در طیف وسیعی از فرآیندهای رشدی و فیزیولوژیکی در گیاهان، از جمله کاهش میزان باروری باکتریایی بذر، تغییر ساختار پوشش بذر، افزایش نفوذپذیری پوشش بذر و تحریک جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه دارد (Selcuk et al., 2008; Sera et al., 2008; Zhou et al., 2011). همچنین، تیمار پلاسما می‌تواند موجب بهبود متابولیسم فیزیولوژیکی در گیاه مانند افزایش فعالیت دهیدروژناز، سوپراکسید دیسموتاز (Yin et al., 2005)، فعالیت‌های پراکسیداز (Jiang et al., 2014)، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کارایی فتوسنتزی و فعالیت نیترات ردوکتاز گردد (Wu et al., 2007).

نتایج پژوهش لینگ و همکاران (Ling et al., 2014) برای پیش‌تیمار بذرهای سویا با پلاسمای سرد (۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ وات به مدت ۱۵ ثانیه) نشان داد که تیمارهای پلاسما تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه داشتند و تیمار ۸۰ وات بیشترین تأثیر را داشت. شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان دادند و جذب آب توسط بذر بهبود یافت. خصوصیات رشد گیاهچه شامل طول اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه چه و وزن خشک ریشه چه نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت. نتایج آنها

تجاری سویا بود (جدول ۱). تیمار بذرهای توسط پلاسما سرد در مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات تهران انجام شد. بذرهای به مدت ۳۰، ۶۰، ۱۸۰، ۳۰۰ و ۴۲۰ ثانیه تحت تیمار پلاسما قرار گرفتند و آزمایش در قالب طرح آزمایشی آشیانه‌ای - فاکتوریل با چهار تکرار در مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کرج در سال ۱۴۰۰ انجام شد.

شکل ۱ دستگاه پلاسما تخلیه سد دی الکتریک (الف) و تیمار بذرهای سویا (ب) را نشان می‌دهد. به‌منظور ساخت دستگاه پلاسما تخلیه سد دی الکتریک از دو الکتروود تخت از جنس آلومینیوم (طول ۴۵ سانتی‌متر، عرض ۶/۵ سانتی‌متر و ضخامت دو میلی‌متر) استفاده شده است. هر دو الکتروود به وسیله یک ورقه دی الکتریک از جنس میکا (طول ۶۰ سانتی‌متر، عرض ۱۲ سانتی‌متر و ضخامت یک میلی‌متر) جهت ممانعت از ایجاد جرقه بین الکتروودها پوشانده شد و در بین دو الکتروود، پلاسما ایجاد شد. جهت ایجاد فاصله بین دو الکتروود از یک جداکننده از جنس پلکسی گلس با ضخامت سه میلی‌متر استفاده شد. بذرهای به‌طور یکنواخت و مستقیم تحت تأثیر پلاسما سرد تولید شده توسط دستگاه تخلیه سد دی الکتریک قرار گرفتند (Domonkos et al., 2021). تخلیه سد دی الکتریک با استفاده از گاز آرگون با اعمال ولتاژ پنج کیلو ولت با فرکانس هشت کیلو هرتز بین دو الکتروود انجام گرفت. جریان عبوری در پلاسما تخلیه سد دی الکتریک در حدود یک میکرو آمپر بود. سرعت جریان گاز در داخل محفظه تولید پلاسما دو لیتر در دقیقه حفظ شد.

طیف انتشار مرئی - فرابنفش توسط راکتور پلاسما توسط طیف‌سنج (Ocean) HR4000CG-UV-NIR (Optics) اندازه‌گیری شد. ولتاژ با استفاده از یک پروب ولتاژ بالا (P6015 Tektronix HV) و جریان‌ها توسط یک پروب جریان (TCP202 Tektronix) با یک اسیلوسکوپ دیجیتال (Tektronix MSO4032) اندازه‌گیری شدند.

نشان داد که تیمار با پلاسما سرد ممکن است باعث افزایش رشد یکنواخت دانه سویا شود. آنها بیان نمودند که بهبود در جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه سویا در پاسخ به تیمار پلاسما سرد نتیجه افزایش جذب آب، استفاده از ذخیره بذر و محتوای قند و پروتئین محلول است. تیمارهای پلاسما سرد ممکن است اثرات مثبتی بر عملکرد سویا داشته باشند و می‌توانند در تولید سویا در آینده مورد استفاده قرار گیرند.

مطالعه دیگری اثر پلاسما سرد دی الکتریک در فشار اتمسفر و فرکانس ۵۰ هرتز با منبع گازی نیتروژن و اکسیژن به مدت ۱، ۲ و ۳ دقیقه بر روی بذرهای سویا آلوده به قارچ بذر زاد *Diaporthe/Phomopsis* و بذر سالم بررسی و گزارش کردند که تمام تیمارهای پلاسما اثر تحریکی معنی‌داری بر پتانسیل جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی داشت (Pizá et al., 2018).

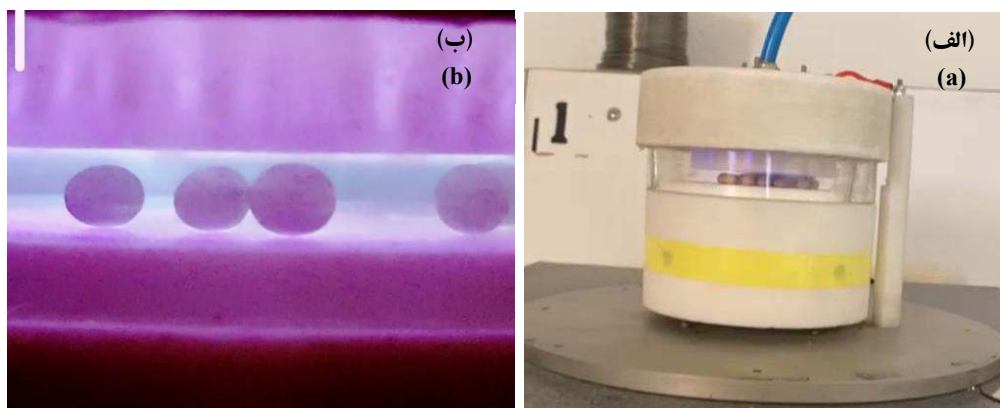
در گزارش دیگری در سویا، اثر پلاسما سرد با منابع مختلف گاز (نیتروژن، هوا و اکسیژن) به مدت ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه نشان داد که خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه پس از اعمال تمام تیمارهای پلاسما (به جز تیمار پلاسما نیتروژن به مدت ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه) نسبت به شاهد افزایش یافت (Švubová et al., 2021).

گزارش‌ها در مورد اثرات پلاسما سرد بر روی جوانه‌زنی بذر سویا محدود است. هدف از این مطالعه بررسی اثرات تیمار پلاسما سرد بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه ارقام تجاری سویا (ساری، صبا، آری، کتول و ویلامز) به منظور بهبود جوانه‌زنی و بنیه بذر بود.

مواد و روش‌ها

بذرهای سویای مورد بررسی از مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کرج تهیه شد. بذرهای مورد بررسی شامل بذرهای طبقات مادری و گواهی شده پنج رقم

¹ UV-visible emission spectra



شکل ۱- دستگاه پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک (الف) و تیمار بذرهای سویا (ب)
Figure 1- Dielectric plasma discharge device (a) and soybean seed treatment (b)

گیاهچه‌های عادی^۴ و غیرعادی^۵ براساس معیارهای انجمن بین‌المللی آزمون بذر (Don and Ducourneau, 2018) در آزمایشگاه تجزیه بذر مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کرج انجام شد.

درصد پتانسیل جوانه‌زنی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید (Ling *et al.*, 2014).

$$GP = \frac{GN_3}{TN} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

GP درصد پتانسیل جوانه‌زنی، GN_1 تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز سوم و TN تعداد کل بذرهای هر تیمار بود.

سرعت جوانه‌زنی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (Ling *et al.*, 2014).

$$GR = \frac{GN_7}{TN} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

GR سرعت جوانه‌زنی، GN_7 تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز هفتم و TN تعداد کل بذرهای هر تیمار بود.

شاخص جوانه‌زنی با استفاده از رابطه (۳) محاسبه

به‌منظور تعیین درصد جوانه‌زنی بذرهای مورد بررسی از آزمون جوانه‌زنی استاندارد^۳ طبق معیارهای انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ISTA) انجام شد. این آزمون با کشت ۱۰۰ بذر در ۴ تکرار (در هر تکرار ۲۵ بذر کشت شد) در لابلای سه لایه (دولایه زیر و یک لایه رو) کاغذ جوانه‌زنی به ابعاد ۳۰×۴۵ سانتی‌متر مرطوب شده با آب معمولی و لوله شده (کشت به صورت ساندویچی) و تعداد ۲۵ بذر را برای سهولت شمارش شان در دو ردیف، ردیف اول تقریباً ۱۲ سانتی‌متر پایین‌تر از لبه بالایی کاغذ و ردیف دوم سه سانتی‌متر زیر ردیف اول قرار داده شد. محل قرارگیری بذور در ردیف دوم به گونه‌ای بود که هر گیاهچه بین دو بذر از ردیف بالایی قرار گرفته، جوانه‌زده و گیاهچه ظاهر شد. پس از قراردادن ورقه سوم کاغذ جوانه‌زنی بر روی بذور و پوشاندن آنها، سه ورق کاغذ جوانه‌زنی به آرامی لوله شد تا به صورت لوله‌ای به قطر چهار سانتی‌متر درآید و به وسیله کش لاستیکی بسته شد. سپس بذور کشت شده را در دمای ثابت ۲۵ درجه سلسیوس به مدت هفت روز (Anonymous, 2020) درون ژرمیناتور قرارداده و با ارزیابی گیاهچه‌ها و تعیین

²Standard Germination Test

³ International seed Testing Association (ISTA)

⁴Normal seedling

⁵Abnormal seedling

گردید (Ling et al., 2014).

$$\text{رابطه (۳)} \quad \text{GI} = \sum \left(\frac{G_t}{D_t} \right)$$

GI شاخص جوانه‌زنی، G_t تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز t و D_t تعداد روز جوانه‌زنی بود.

متوسط زمان جوانه‌زنی با استفاده از رابطه (۴) محاسبه گردید (Ranal and De Santana, 2006).

$$\text{رابطه (۴)} \quad \text{MGT} = \frac{\sum N_i D_i}{\sum N}$$

MGT متوسط زمان جوانه‌زنی، N_i تعداد بذرهای جوانه زده در روز N ام و D_i تعداد روزها از شروع آزمون (هنگام کشت) تا شمارش N ام (پایان دوره آزمون) و N تعداد کل بذرهای جوانه زده بود.

به منظور بررسی و ارزیابی گیاهچه پس از پایان آزمون جوانه‌زنی اسستانا ندارد تعداد ۱۰ گیاهچه عادی به طور تصادفی از هر تکرار انتخاب و پس از اندازه‌گیری طول گیاهچه و ریشه اولیه به وسیله خط کش بر حسب سانتی‌متر، وزن تر گیاهچه‌ها به وسیله ترازوی دقیق با دقت ± 0.01 گرم تعیین و پس از خشک کردن گیاهچه‌ها به وسیله آون با دمای 75°C درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت با استفاده از ترازوی دقیق با دقت ± 0.001 مشخص گردید.

بعد از جمع‌آوری اطلاعات، تجزیه آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ صورت گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسات میانگین به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام شد و برای تفکیک میانگین‌ها با حروف مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نیز انجام شد.

جدول ۱- ارقام سویا تجاری مورد مطالعه و طبقات بذری آنها

Table 1- Studied soybean commercial cultivars and their seed classes

رقم Cultivar	طبقه (داخل رقم) Class (within cultivar)
ساری Sari	مادری Registered گواهی شده Certified
صبا Saba	مادری Registered گواهی شده Certified
آرین Arian	مادری Registered گواهی شده Certified
کتول Katoul	مادری Registered گواهی شده Certified
ویلیامز Williams	مادری Registered گواهی شده Certified

نتایج و بحث

درصد پتانسیل جوانه زنی

نتایج تجزیه واریانس داده ها بیانگر وجود اختلاف معنی دار ارقام مورد آزمایش از نظر پتانسیل جوانه زنی بود. طبقه داخل رقم و زمان تیمار پلاسما نیز دارای اختلاف معنی داری بودند. اثر متقابل رقم در زمان و طبقه داخل رقم در زمان نیز معنی دار بود که به ترتیب نشان دهنده واکنش متفاوت ارقام و طبقه داخل رقم در زمان های مختلف تیمار پلاسما است (جدول ۲). به طور کلی، تیمار پلاسما در اکثر

نمونه ها اثر مثبتی بر درصد جوانه زنی داشت. کمترین (۵۴/۵ درصد) و بیشترین (۹۸/۱ درصد) میزان جوانه زنی به ترتیب متعلق به بذره های طبقه گواهی شده رقم آرن در تیمار شاهد و طبقه مادری رقم ساری در تیمار ۱۸۰ ثانیه پلاسما بود (جدول ۳). کمترین درصد افزایش درصد پتانسیل جوانه زنی ۱/۲ درصد بود که متعلق به طبقه گواهی شده رقم کتول در تیمار ۴۲۰ ثانیه نسبت به شاهد بود و بیشترین درصد افزایش این صفت ۶۷/۰ درصد متعلق به طبقه گواهی شده رقم آرن در تیمار ۶۰ ثانیه نسبت به شاهد بود.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس برای خصوصیات جوانه زنی بذر و رشد گیاهچه ارقام مختلف سویا

Table 2- Results of analysis of variance for seed germination characteristics and seedling growth of different soybean cultivars

منبع تغییرات S.O.V	df	میانگین مربعات Means of Square							
		درصد پتانسیل جوانه زنی Germination potential percentage	سرعت جوانه زنی Germination Rate	شاخص جوانه زنی Germination index	موسمط زمان جوانه زنی Mean germination time	طول ریشه چه Root length	طول گیاهچه Seedling length	تعداد گیاهچه عادی Normal seedling number	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight
رقم Cultivar	4	1061.30**	509.56**	838.63**	3.21**	105.96**	534.52**	112.83**	1.49**
طبقه (داخل رقم) Class (within cultivar)	5	329.21**	60.26**	452.46**	1.05**	147.63**	138.96**	176.47**	0.11**
زمان Time	5	790.46**	306.50**	441.87**	14.37**	72.406**	706.32**	654.84**	0.25**
رقم × زمان Cultivar × Time	20	61.98**	24.99**	24.52**	0.73**	3.36**	8.68**	66.87**	0.04**
طبقه (داخل رقم) × زمان Class (within cultivar) × Time	25	94.28**	39.77**	34.45**	0.74**	4.64**	23.15**	35.35**	0.03**
خطا Error	180	17.70	11.49	11.06	0.29	0.729	2.66	14.69	0.01
ضریب تغییرات (%) CV (%)	-	3.74	3.63	5.69	24.09	5.37	4.60	4.15	8.39

ns و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱٪

ns and **: Not significant and significant at 1% probability level, respectively

گزارش نمودند که تیمار ۸۰ وات پلاسما ی هلیوم سرد، درصد پتانسیل جوانه زنی بذر (۰/۶ درصد) و سرعت

نتایج مشابهی توسط محققان پیشین ارائه شده است. برای مثال، جیانگ و همکاران (Jiang et al., 2014)

نیترژن به مدت ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه مهار جوانه‌زنی مشاهده شد. آنها دلیل مهار جوانه‌زنی بذر را به جذب سریع و ناکافی آب که می‌تواند باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی یا خفگی جنین شود ربط دادند. پلاسما نیترژن نسبت به پلاسما هوای محیط اشعه ماوراء بنفش شدیدتری تولید می‌کند که می‌تواند دلیل جوانه‌زنی کم بذرهای تیمار شده با پلاسما نیترژن در ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه باشد. در سایر تیمارها افزایش درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد مشاهده شد (Švubová et al., 2021).

سرعت جوانه‌زنی

تجزیه واریانس داده‌های سرعت جوانه‌زنی مشخص کرد که اثر رقم، طبقه داخل رقم، زمان تیمار پلاسما و اثر متقابل رقم در زمان و طبقه داخل رقم در زمان بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). تیمار پلاسما در اکثر نمونه‌ها اثر مثبتی بر سرعت جوانه‌زنی داشت. کمترین میزان سرعت جوانه‌زنی با ۷۱/۸ درصد متعلق به تیمار شاهد بذرهای طبقه گواهی‌شده رقم آرین و بیشترین میزان سرعت جوانه‌زنی با ۹۸/۴ درصد مربوط به طبقه گواهی‌شده رقم ویلیامز در تیمار ۶۰ ثانیه پلاسما بود (جدول ۳). کمترین درصد افزایش سرعت جوانه‌زنی ۱/۷ درصد بود که متعلق به طبقه گواهی‌شده رقم کتول در تیمار ۴۲۰ ثانیه نسبت به شاهد بود و بیشترین درصد افزایش این صفت ۳۲/۲ درصد بود که متعلق به طبقه گواهی‌شده رقم آرین در تیمار ۶۰ ثانیه نسبت به شاهد بود. کمترین درصد کاهش سرعت جوانه‌زنی مربوط به طبقه گواهی‌شده رقم ساری در تیمار ۴۲۰ ثانیه پلاسما (۰/۹ درصد) و بیشترین درصد کاهش این صفت مربوط به طبقه مادری در رقم آرین در تیمار ۴۲۰ ثانیه (۶/۶ درصد) نسبت به تیمار شاهد خود بود که ناشی از اثر مخرب پلاسما بر تیمارهای ذکر شده نسبت به تیمار شاهد خود بود.

لی و همکاران (Li et al., 2017) گزارش نمودند که بعد از اعمال پلاسما سد دی الکتریک در اتمسفر هوا به مدت هفت دقیقه در گندم، سرعت جوانه‌زنی ۹/۱ درصد

جوانه‌زنی (۶/۷ درصد) را به‌طور قابل توجهی در بذر گندم بهبود بخشید. لینگ و همکاران (Ling et al., 2014) در بذر سویا، بیشترین افزایش درصد پتانسیل جوانه‌زنی (۱۴/۷ درصد) نسبت به تیمار شاهد در تیمار ۸۰ وات پلاسما به مدت ۱۵ ثانیه گزارش نمودند. لی و همکاران (Li et al., 2017) گزارش نمودند که بعد از اعمال پلاسما سد دی الکتریک در اتمسفر هوا به مدت هفت دقیقه در گندم، درصد پتانسیل جوانه‌زنی ۲۶/۷ درصد افزایش یافت. فریدونی و علیزاده (Fereydoni and Alizadeh, 2022) گزارش نمودند که پتانسیل درصد جوانه‌زنی ارقام نخود در تیمار ۳۰ ثانیه پلاسما دو درصد و در تیمار ۶۰ ثانیه ۱۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. نور محمدی و همکاران (Noormohammadi et al., 2019) گزارش نمودند که جوانه‌زنی بذور گیاه پریش (Catharanthus roseus L.) تحت تیمار ۵۰ ثانیه پلاسما سرد به‌طور قابل توجهی نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافت. در گزارش دیگری، تیمار پلاسما ۸۰ وات به مدت ۱۰ ثانیه درصد جوانه‌زنی بذرهای کنجد را از ۸۲/۲ به ۱۰۰ درصد افزایش داده است (Goudarzi et al., 2021).

در مطالعه دیگری دانه‌های سویا تحت پلاسما سد دی الکتریک در فشار اتمسفر و فرکانس ۵۰ هرتز با منبع گازی نیترژن و اکسیژن به مدت ۱، ۲ و ۳ دقیقه قرار گرفتند. تمام تیمارهای پلاسما اثر تحرکی معنی‌داری بر پتانسیل جوانه‌زنی داشت (Pizá et al., 2018) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت.

در تحقیق حاضر، درصد کاهش جوانه‌زنی تا ۳/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. طبقه مادری در رقم آرین در تیمار ۴۲۰ ثانیه پلاسما نسبت به تیمار شاهد خود کاهش جوانه‌زنی داشتند که ناشی از اثر مخرب پلاسما بر تیمار ذکر شده نسبت به تیمار شاهد خود بود.

در گزارش دیگری، بذرهای سویا با پلاسما تولید شده در جو اکسیژن، نیترژن و جو محیط به مدت ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه تیمار شدند. تحت تیمار پلاسما

افزایش یافت. اسویوا و همکاران (Švubová *et al.*, 2021) بذرهای سویا را تحت تیمار پلاسمای تولید شده در جو اکسیژن، نیتروژن و جو محیط به مدت ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه قرار دادند. در تمام تیمارها (به جز تیمار پلاسمای نیتروژن به مدت ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه) سرعت رشد جوانه‌زنی بذر افزایش یافت که احتمالاً به دلیل تأثیر مثبت پلاسمای بر فعالیت آنزیم‌هایی است که در مراحل اولیه جوانه‌زنی ضروری هستند.

مکانیسم افزایش سرعت جوانه‌زنی به ساختار سطح بذر، جذب آب، توانایی شکستن پوشش بذر و انتشار گونه‌های فعال شیمیایی (مانند ROS) از طریق پوسته مربوط می‌شود. ورود آب به دانه منجر به انتقال هورمون‌های اسید جیبرلیک به لایه آلورون آندوسپرم می‌شود که بیان آنزیم آلفا آمیلاز را افزایش می‌دهد. آلفا آمیلاز ایجاد شده، مواد مغذی ذخیره شده در آندوسپرم مانند نشاسته را به قند تجزیه می‌کند (Ji *et al.*, 2016). در نهایت قند تولید شده به عنوان منبع انرژی باعث افزایش رشد جنین در دوره جوانه‌زنی می‌شود. علاوه بر این، تصاویر میکروسکوب الکترونی نشان داد که تیمار پلاسمای باعث شکستگی‌های میکرومتریکی روی پوشش سخت‌کنگر فرنگی می‌شود که باعث افزایش جذب آب و توانایی شکستن پوسته دانه‌ها می‌شود (Hosseini *et al.*, 2018). محققان دیگری بیان کردند که افزایش سرعت جوانه‌زنی ممکن است به دلیل ایچینگ پلاسمای روی پوسته بذر و اختلال در ماکرومولکول‌های تشکیل شده در سطح بذر باشد که باعث افزایش آزادسازی گروه‌های عاملی نیترات از طریق پوشش بذر به داخل دانه می‌شود (Gómez-Ramírez *et al.*, 2017).

شاخص جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از شاخص جوانه‌زنی نشان داد که اثر رقم، طبقه داخل رقم، زمان

تیمار پلاسمای و اثر متقابل آنها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با یکدیگر داشتند (جدول ۲). در اکثر نمونه‌ها، تیمار پلاسمای اثر مثبتی بر شاخص جوانه‌زنی داشت. کمترین و بیشترین میزان شاخص جوانه‌زنی به ترتیب متعلق به بذرهای طبقه گواهی‌شده رقم آرین در تیمار شاهد (۵۴/۵ درصد) و طبقه مادری رقم ساری در تیمار ۳۰ ثانیه پلاسمای (۶۶/۲ درصد) بود (جدول ۳). کمترین درصد افزایش شاخص جوانه‌زنی ۳/۶ درصد بود که متعلق به طبقه مادری رقم آرین در تیمار ۳۰۰ ثانیه نسبت به شاهد بود و بیشترین درصد افزایش این صفت ۶۰/۱ درصد بود که متعلق به طبقه گواهی‌شده رقم آرین در تیمار ۶۰ ثانیه نسبت به شاهد بود.

درصد کاهش شاخص جوانه‌زنی ۲/۴ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. طبقه مادری در رقم آرین در تیمار ۴۲۰ ثانیه پلاسمای نسبت به تیمار شاهد خود کاهش شاخص جوانه‌زنی داشت که ناشی از اثر مخرب پلاسمای بر تیمار ذکر شده نسبت به تیمار شاهد خود بود.

لی و همکاران (Li *et al.*, 2017) گزارش نمودند که بعد از پلاسمای سد دی‌الکترونیک در اتمسفر هوا به مدت هفت دقیقه در گندم، شاخص جوانه‌زنی ۱۶/۹ درصد افزایش یافت. گوا و همکاران (Guo *et al.*, 2018) افزایش ۱۳/۹ درصدی شاخص جوانه‌زنی در تیمار ۱۱ کیلوولت به مدت ۴ دقیقه نسبت به شاهد را در گندم گزارش نمودند.

متوسط زمان جوانه‌زنی

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر رقم، طبقه داخل رقم، زمان تیمار پلاسمای و اثر متقابل آنها بر متوسط زمان جوانه‌زنی معنی‌دار بود. تیمار پلاسمای در اکثر نمونه‌ها اثر کاهشی بر این صفت داشت. کمترین میزان متوسط زمان جوانه‌زنی ۱/۴ روز بود که در طبقه پایه رقم ویلیامز در تیمار ۶۰ ثانیه مشاهده شد و بیشترین مقدار این

طول گیاهچه

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر رقم، طبقه داخل رقم، زمان تیمار پلاسما و اثر متقابل آنها بر طول گیاهچه معنی دار بود. در تمام نمونه‌ها، تیمار پلاسما اثر مثبتی بر طول گیاهچه داشت. کمترین میزان طول گیاهچه ۲۲/۰ سانتی‌متر بود که در طبقه گواهی شده رقم آرین در تیمار شاهد مشاهده شد و بیشترین مقدار این صفت ۴۵/۲ سانتی‌متر متعلق به طبقه پایه رقم ویلیامز در تیمار ۱۸۰ ثانیه بود (جدول ۳). کمترین درصد افزایش طول گیاهچه ۲/۷ درصد بود که متعلق به طبقه گواهی شده رقم صبا در تیمار ۳۰ ثانیه نسبت به شاهد بود و بیشترین درصد افزایش این صفت ۷۸/۱ درصد بود که متعلق به طبقه مادری رقم صبا در تیمار ۶۰ ثانیه نسبت به شاهد بود. لینگ و همکاران (Ling *et al.*, 2014) گزارش نمودند که تیمار ۸۰ وات پلاسما سرد به مدت ۱۵ ثانیه موجب افزایش معنی‌دار طول گیاهچه (۱۳/۸ درصد) نسبت به شاهد در سویا گردید. همچنین، افزایش معنی‌دار در طول گیاهچه تحت تیمار پلاسما سرد در گندم (Li *et al.*, 2017; Meng *et al.*, 2017; Guo *et al.*, 2018)، گیاه پریش (Noormohammadi *et al.*, 2019) و کنجد (Goudarzi *et al.*, 2021) گزارش شده است.

تعداد گیاهچه عادی

تجزیه واریانس داده‌های تعداد گیاهچه عادی مشخص کرد که اثر رقم، طبقه داخل رقم، زمان تیمار پلاسما و اثر متقابل آنها بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طور کلی، تیمار پلاسما در اکثر نمونه‌ها اثر مثبتی بر تعداد گیاهچه عادی داشت. کمترین تعداد گیاهچه عادی ۷۶ عدد بود که مربوط به طبقه پایه رقم ویلیامز در تیمار شاهد بود و بیشترین تعداد گیاهچه عادی ۱۰۰ عدد بود که مربوط به طبقه مادری رقم کتول در تیمار ۳۰ و ۶۰ ثانیه، طبقه مادری رقم ساری در تیمار ۳۰ و ۶۰ ثانیه و طبقه گواهی شده رقم ویلیامز در تیمار ۶۰ ثانیه بود. کمترین درصد افزایش تعداد گیاهچه عادی صفر درصد نسبت به تیمار شاهد بود که

صفت ۴/۶ روز متعلق به طبقه گواهی شده رقم آرین در تیمار شاهد بود (جدول ۳). کمترین درصد کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی ۴/۶ درصد بود که متعلق به طبقه مادری رقم ساری در تیمار ۳۰۰ ثانیه نسبت به شاهد بود و بیشترین درصد کاهش این صفت ۶۶/۷ درصد بود که متعلق به طبقه پایه رقم ویلیامز در تیمار ۶۰ ثانیه نسبت به شاهد بود که ناشی از اثر مفید پلاسما بر تیمارهای ذکر شده نسبت به تیمار شاهد خود بود.

طبقه مادری در رقم صبا در تمام تیمارهای اعمال شده پلاسما نسبت به تیمار شاهد خود افزایش متوسط زمان جوانه‌زنی (۱/۵ تا ۲۱/۶ درصد) داشت که ناشی از اثر مخرب پلاسما بر تیمارهای ذکر شده نسبت به تیمار شاهد خود بود.

طول ریشه‌چه

تجزیه واریانس داده‌های طول ریشه‌چه مشخص کرد که اثر رقم، طبقه داخل رقم، زمان تیمار پلاسما و اثر متقابل آنها بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طور کلی، تیمار پلاسما در تمام نمونه‌ها اثر مثبتی بر طول ریشه‌چه داشت. کمترین میزان طول ریشه‌چه ۱۰/۲ سانتی‌متر بود که در طبقه مادری رقم ساری در تیمار شاهد مشاهده شد و بیشترین مقدار این صفت ۲۱/۲ سانتی‌متر متعلق به طبقه مادری رقم صبا در تیمار ۶۰ ثانیه بود (جدول ۳). کمترین درصد افزایش طول ریشه‌چه ۲/۹ درصد بود که متعلق به طبقه گواهی شده رقم ویلیامز در تیمار ۴۲۰ ثانیه نسبت به شاهد بود و بیشترین درصد افزایش این صفت ۵۶/۱ درصد بود که متعلق به طبقه مادری رقم کتول در تیمار ۱۸۰ ثانیه نسبت به شاهد بود.

افزایش معنی‌دار در طول ریشه‌چه تحت تیمار پلاسما سرد در سویا (Ling *et al.*, 2014)، گندم (Li *et al.*, 2017; Meng *et al.*, 2017)، کنجد (Goudarzi *et al.*, 2021) و نخود (Fereydoni and Alizaheh, 2022) گزارش شده است.

تیمار شاهد بود (جدول ۳) که ناشی از اثر مخرب پلاسمای بر تیمارهای ذکر شده نسبت به تیمار شاهد خود بود. لینگ و همکاران (Ling *et al.*, 2014) گزارش نمودند که تیمار ۸۰ وات پلاسمای سرد به مدت ۱۵ ثانیه موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی (۲۱/۹ درصد) نسبت به شاهد در سو یا گردید. لی و همکاران (Li *et al.*, 2017) گزارش نمودند که اثر پلاسمای سرد دی الکترونیک در اتمسفر هوا به مدت هفت دقیقه در گندم، موجب افزایش وزن تر و وزن خشک گیاهچه گردید. همچنین، گوا و همکاران (Guo *et al.*, 2018) افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۱۱ کیلو ولت به مدت ۴ دقیقه نسبت به شاهد را در گندم گزارش نمودند که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابقت داشت.

فرآیندهای اکسیداسیون گونه‌های واکنش‌گر پلاسمایی ممکن است قابلیت جذب آب را با افزایش ترشوندگی پوشش بذر افزایش دهد و همچنین می‌تواند با تبادل گاز و نشت الکتروولت تو سط بذر مرتبط باشد. این احتمال وجود دارد که پلاسمای سرد می‌تواند به‌طور مؤثری خواب بذرهای سخت را با تأثیر بر نفوذپذیری دانه و شروع فرآیندهای بعدی تغییر دهد. پلاسمای سرد می‌تواند تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی و رشد بذر و متعاقباً بر صفات گیاهچه‌ای داشته باشد. تیمار پلاسمای سرد می‌تواند سختی مرتبط با خواب مکانیکی بسیاری از گونه‌های تیره بقولات مانند یونجه، لوبین آبی، نخود سبز، *Mimosa sp.*، *Trifolium sp.* و غیره را کاهش دهد. پلاسمای سرد را می‌توان در ضد عفونی سطوح بذر گیاهان یا محصولات حبوبات استفاده کرد. حبوبات این تیمار فیزیکی‌شیمیایی را به خوبی تحمل می‌کنند و به‌نظر می‌رسد تنش جزئی که پلاسمای ایجاد می‌کند تأثیر مثبتی روی آنها داشته باشد. بنابراین، تغییرات در عوامل فیزیولوژیکی می‌تواند بر تعداد گیاهان در مزرعه و عملکرد گیاهان تأثیر مثبت بگذارد (Šerá *et al.*, 2021).

متعلق به طبقه گواهی‌شده رقم آراین در تیمار ۳۰ ثانیه و طبقه گواهی‌شده رقم ساری در تیمارهای ۳۰ و ۱۸۰ ثانیه نسبت به شاهد بود و بیشترین درصد افزایش این صفت ۳۰/۳ درصد بود که متعلق به طبقه پایه رقم ویلیامز در تیمار ۶۰ ثانیه نسبت به شاهد بود (جدول ۳).

کمترین درصد کاهش تعداد گیاهچه عادی ۱/۱ درصد نسبت به تیمار شاهد بود که متعلق به طبقه مادری رقم صبا در تیمار ۳۰ ثانیه نسبت به شاهد بود و بیشترین درصد کاهش این صفت ۸/۷ درصد بود که متعلق به طبقه مادری رقم آراین در تیمار ۴۲۰ ثانیه نسبت به شاهد بود که ناشی از اثر مخرب پلاسمای بر تیمارهای ذکر شده نسبت به تیمار شاهد خود بود (جدول ۳).

وزن خشک گیاهچه

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر رقم، طبقه داخل رقم، زمان تیمار پلاسمای و اثر متقابل آنها بر وزن خشک گیاهچه معنی‌دار بود. در اکثر نمونه‌ها، تیمار پلاسمای اثر مثبتی بر این صفت داشت. کمترین میزان وزن خشک گیاهچه ۱/۱ گرم بود که در طبقه مادری رقم ساری در تیمار شاهد مشاهده شد و بیشترین مقدار این صفت ۱/۸ گرم متعلق به طبقه گواهی‌شده رقم کنترل در تیمار ۳۰ ثانیه بود (جدول ۳). کمترین درصد افزایش وزن خشک گیاهچه ۱/۴ درصد بود که متعلق به طبقه مادری رقم ساری در تیمار ۳۰۰ ثانیه نسبت به شاهد بود و بیشترین درصد افزایش این صفت ۳۶/۶ درصد بود که متعلق به طبقه مادری رقم کنترل در تیمار ۳۰۰ ثانیه نسبت به شاهد خود بود (جدول ۳).

کمترین درصد کاهش وزن خشک گیاهچه ۱/۵ درصد بود که مربوط به طبقه گواهی‌شده رقم صبا در تیمار ۳۰۰ ثانیه پلاسمای نسبت به تیمار شاهد بود و بیشترین درصد کاهش این صفت ۹/۶ درصد بود که مربوط به طبقه گواهی‌شده رقم صبا در تیمار ۴۲۰ ثانیه نسبت به

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمار پلاسما بر رقم و طبقه داخل رقم در صفات مطالعه شده در سویا

Table 3- Comparison mean of the effect of plasma treatment on cultivar and class within cultivar in studied traits in soybean

Cultivar	طبقه (داخل رقم) Class (within cultivar)	مدت تیمار پلاسما سرد (ثانیه) Cold plasma treatment time (S)	درصد پتانسیل جوانه‌زنی Germination potential percentage	سرعت جوانه‌زنی (%) Germination Rate (%)	شاخص جوانه‌زنی Germination index	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز) Mean Germination Time (Day)
ساری Sari	مادری Registered	0	85.50 ± 1.26f-m	92.75 ± 0.63a-k	57.12 ± 1.18g-p	2.65 ± 0.02d-h
		30	96.25 ± 0.85ab	98.13 ± 0.43a	66.19 ± 1.03a	1.54 ± 0.01lm
		60	96.00 ± 1.22abc	98.00 ± 0.61a	63.94 ± 1.22a-d	1.54 ± 0.01lm
		180	98.13 ± 0.66a	98.13 ± 0.66a	64.31 ± 1.25abc	1.67 ± 0.14i-m
		300	93.75 ± 0.75a-e	94.88 ± 0.37a-h	62.85 ± 0.69a-f	2.53 ± 0.01e-j
		420	95.25 ± 1.80a-d	97.13 ± 1.39a-d	63.51 ± 1.49a-d	2.30 ± 0.77f-m
		0	88.25 ± 1.11d-l	94.13 ± 0.55a-h	58.34 ± 1.06d-m	2.52 ± 0.12e-k
	گواهی شده Certified	30	94.50 ± 0.29a-d	97.25 ± 0.14abc	62.44 ± 0.29a-g	1.56 ± 0.00klm
		60	95.75 ± 0.48abc	97.88 ± 0.24a	63.69 ± 0.48a-d	1.80 ± 0.25h-m
		180	95.75 ± 1.49abc	97.38 ± 0.97abc	63.69 ± 0.48a-d	1.80 ± 0.25h-m
		300	95.50 ± 1.50a-d	97.25 ± 1.11abc	63.69 ± 0.48a-d	1.80 ± 0.25h-m
		420	90.00 ± 1.29b-i	93.25 ± 1.44a-j	63.69 ± 0.48a-d	1.80 ± 0.25h-m
		0	72.75 ± 3.66p	82.38 ± 2.38n	63.69 ± 0.48a-d	1.80 ± 0.25h-m
		30	85.75 ± 3.50f-m	88.88 ± 3.33g-m	55.40 ± 2.81j-r	2.07 ± 0.20f-m
صبا Saba	مادری Registered	60	88.75 ± 1.93c-k	92.38 ± 1.76a-l	57.48 ± 1.84f-o	1.84 ± 0.16g-m
		180	91.00 ± 1.29a-h	94.00 ± 1.47a-h	59.41 ± 1.15c-l	1.82 ± 0.16h-m
		300	81.75 ± 1.44k-o	87.88 ± 1.71i-n	51.91 ± 1.15o-t	2.18 ± 0.30f-m
		420	84.50 ± 1.76h-n	90.25 ± 2.03e-l	49.99 ± 0.62rst	2.17 ± 0.21f-m
		0	79.50 ± 1.76mno	86.75 ± 2.11k-n	50.61 ± 2.10q-t	4.24 ± 0.51ab
		30	86.50 ± 1.55f-m	92.25 ± 1.76a-l	55.67 ± 1.15i-q	2.25 ± 0.24f-m
		60	85.50 ± 1.19f-m	91.25 ± 0.92c-l	54.88 ± 1.46j-r	2.03 ± 0.25f-m
	گواهی شده Certified	180	84.75 ± 1.80g-n	89.88 ± 1.83f-m	54.18 ± 1.62k-s	1.75 ± 0.14h-m
		300	88.25 ± 3.17d-l	94.63 ± 2.78a-h	56.53 ± 3.09i-p	2.00 ± 0.26f-m
		420	87.25 ± 3.12e-l	90.38 ± 2.55e-l	56.84 ± 2.20h-p	2.10 ± 0.22f-m
		0	84.50 ± 0.65h-n	90.25 ± 0.66e-l	54.05 ± 0.66l-s	4.19 ± 0.49ab
		30	90.75 ± 2.14a-h	93.88 ± 1.51a-i	59.90 ± 1.88b-j	2.22 ± 0.12f-m
		60	92.00 ± 2.12a-g	96.00 ± 1.06a-f	62.31 ± 1.09a-h	2.08 ± 0.21f-m
		180	92.25 ± 1.65a-f	94.63 ± 1.25a-h	61.15 ± 1.42a-i	2.07 ± 0.21f-m
آرین Arian	مادری Registered	300	85.50 ± 4.33f-m	87.63 ± 3.13j-n	56.00 ± 3.27i-q	2.10 ± 0.03f-m
		420	81.50 ± 3.38k-o	84.25 ± 3.90mn	52.73 ± 2.01m-t	2.84 ± 0.59def
		0	54.50 ± 2.22q	71.88 ± 2.05 o	37.01 ± 1.31v	4.64 ± 0.25a
		30	84.75 ± 0.75g-n	91.00 ± 0.84d-l	48.52 ± 3.64t	1.79 ± 0.12h-m
		60	91.00 ± 2.71a-h	95.00 ± 1.85a-g	59.26 ± 2.39c-l	1.60 ± 0.03j-m
		180	89.75 ± 1.55b-j	91.25 ± 3.44c-l	57.81 ± 0.66e-n	2.41 ± 0.16e-l
		300	86.50 ± 4.09f-m	91.25 ± 3.44c-l	52.80 ± 2.07m-t	2.26 ± 0.26f-m
	گواهی شده Certified	420	82.50 ± 3.62j-o	88.75 ± 3.26h-m	52.61 ± 2.43n-t	3.21 ± 0.51cde
		0	81.25 ± 0.75l-o	90.25 ± 0.43e-l	54.89 ± 0.44j-r	3.46 ± 0.15bcd
		30	94.75 ± 1.65a-d	97.38 ± 0.83abc	63.44 ± 1.51a-d	2.06 ± 0.22f-m
		60	96.25 ± 0.95ab	98.13 ± 0.47a	63.44 ± 0.29a-d	1.91 ± 0.23f-m
		180	93.75 ± 1.93a-e	96.38 ± 1.46a-c	62.08 ± 1.63a-h	1.81 ± 0.25h-m
		300	90.25 ± 5.19b-i	94.63 ± 2.55a-h	63.76 ± 0.81a-d	1.79 ± 0.25h-m
		420	94.00 ± 2.45a-e	96.00 ± 1.78a-f	63.76 ± 1.37a-d	2.06 ± 0.31f-m
کتول Katoul	مادری Registered	0	85.50 ± 1.26f-m	92.75 ± 0.63a-k	43.63 ± 1.03u	3.68 ± 0.57bc
		30	83.00 ± 2.92i-o	91.50 ± 1.46b-l	51.76 ± 2.21p-t	2.44 ± 0.23e-l
		60	83.00 ± 2.92i-o	91.50 ± 1.46b-l	54.21 ± 1.69k-s	2.60 ± 0.15d-i
		180	76.50 ± 2.33op	82.75 ± 2.38n	48.89 ± 1.31st	1.85 ± 0.17g-m
		300	78.00 ± 2.16nop	86.50 ± 2.25lmn	48.91 ± 1.29st	2.13 ± 0.24f-m
		420	85.50 ± 1.26f-m	92.75 ± 0.63a-k	52.49 ± 1.72n-t	2.80 ± 0.22d-g
		0	83.25 ± 1.38i-o	89.63 ± 0.69g-m	59.73 ± 4.74b-k	4.21 ± 0.54ab
	گواهی شده Certified	30	96.00 ± 1.29abc	97.50 ± 0.91ab	64.63 ± 1.06abc	1.78 ± 0.16h-m
		60	96.00 ± 1.87abc	97.50 ± 1.40ab	64.26 ± 1.59abc	1.41 ± 0.14m
		180	96.75 ± 0.48ab	97.88 ± 0.66a	65.01 ± 0.41abc	1.65 ± 0.32i-m
		300	96.75 ± 1.31ab	98.38 ± 0.66a	65.31 ± 0.90ab	2.03 ± 0.30f-m
		420	95.25 ± 2.59a-d	96.13 ± 2.75a-e	64.76 ± 1.27abc	2.27 ± 0.24f-m
		0	85.50 ± 1.26f-m	92.75 ± 0.63a-k	54.25 ± 1.73k-s	2.65 ± 0.02d-h
		30	95.50 ± 1.04a-d	97.75 ± 0.52a	63.76 ± 1.11a-d	2.04 ± 0.20f-m
ویلیامز Williams	گواهی شده Certified	60	96.75 ± 0.75ab	98.38 ± 0.38a	64.19 ± 0.63abc	1.53 ± 0.01lm
		180	96.50 ± 0.87ab	97.75 ± 0.92a	64.76 ± 0.56abc	1.53 ± 0.00lm
		300	94.75 ± 1.93a-d	96.88 ± 1.46a-d	63.34 ± 1.46a-e	1.92 ± 0.25f-m
		420	93.75 ± 1.31a-e	95.88 ± 1.16a-f	63.24 ± 1.00a-e	2.04 ± 0.21f-m

Table 3- Continued

جدول ۳- ادامه

Cultivar	طبقه (داخل رقم) Class (within cultivar)	مدت تیمار پلاسمای سرد (ثانیه) Cold plasma treatment time (S)	طول ریشه چه	طول گیاهچه (سانتی‌متر)	تعداد گیاهچه عادی	وزن خشک گیاهچه
			(سانتی‌متر) Root length (cm)	Seedling length (cm)	Normal seedling number	(گرم) Seedling dry weight (gr)
ساری Sari	مادری Registered	0	10.20 ± 0.14z	23.52 ± 0.45y	91.00 ± 1.91d-j	1.07 ± 0.08y
		30	14.67 ± 0.13o-s	34.35 ± 75n-u	98.00 ± 1.15abc	1.17 ± 0.03u-y
		60	13.92 ± 0.35q-v	34.17 ± 0.52p-u	100.00 ± 0.00a	1.16 ± 0.03u-y
		180	14.87 ± 0.38o-r	34.57 ± 0.61m-u	100.00 ± 0.00a	1.35 ± 0.02k-u
		300	13.75 ± 0.86q-v	30.75 ± 0.63vw	93.00 ± 1.00b-h	1.08 ± 0.04xy
		420	11.47 ± 0.54y	27.25 ± 0.37x	93.00 ± 1.00b-h	1.13 ± 0.07v-y
	گواهی شده Certified	0	12.1 ± 0.12w-y	22.57 ± 0.5y	89.00 ± 1.91f-k	1.27 ± 0.04p-y
		30	14.02 ± 0.25p-v	34.22 ± 0.22q-u	89.00 ± 3.00f-k	1.22 ± 0.03r-y
		60	15.17 ± 0.22 n-q	36.37 ± 0.46k-p	96.00 ± 0.00a-e	1.36 ± 0.04k-u
		180	14.97 ± 0.22 o-r	35.10 ± 0.31m-t	89.00 ± 1.00f-k	1.22 ± 0.03r-y
		300	14.00 ± 0.32q-v	34.72 ± 0.39m-u	91.00 ± 1.91d-j	1.22 ± 0.03r-y
		420	13.67 ± 0.28r-n	33.17 ± 0.19s-v	87.00 ± 1.91h-k	1.22 ± 0.03r-y
صبا Saba	مادری Registered	0	14.87 ± 0.94o-r	22.97 ± 0.69y	89.00 ± 1.00f-k	1.22 ± 0.03r-y
		30	16.82 ± 0.26i-l	36.00 ± 0.37l-r	88.00 ± 2.31g-k	1.24 ± 0.05q-y
		60	21.17 ± 0.17 a	40.92 ± 0.75c-f	96.00 ± 1.63a-e	1.32 ± 0.02m-w
		180	20.60 ± 0.34 ab	40.15 ± 0.35d-g	95.00 ± 1.91a-f	1.35 ± 0.05l-u
		300	20.52 ± 0.62 ab	39.57 ± 0.39d-i	90.00 ± 1.15e-k	1.16 ± 0.09u-y
		420	20.15 ± 0.65 abc	39.47 ± 0.69d-i	93.00 ± 1.00b-h	1.28 ± 0.06o-x
	گواهی شده Certified	0	11.87 ± 0.15xy	32.50 ± 0.81t-w	88.00 ± 1.63g-k	1.23 ± 0.04q-y
		30	13.30 ± 0.17s-w	32.22 ± 0.14r-v	90.00 ± 2.58e-k	1.20 ± 0.08t-y
		60	14.87 ± 0.21o-r	34.60 ± 0.42m-u	96.00 ± 0.00a-e	1.31 ± 0.04m-w
		180	13.87 ± 0.21q-v	34.82 ± 0.16m-t	86.00 ± 3.46ijk	1.29 ± 0.03n-w
		300	13.62 ± 0.17r-w	34.32 ± 59n-u	86.00 ± 3.46ijk	1.21 ± 0.02s-y
		420	13.30 ± 0.18s-w	33.32 ± 0.42q-v	85.00 ± 1.91jk	1.11 ± 0.05wxy
آرین Arian	مادری Registered	0	12.60 ± 0.29v-y	22.05 ± 0.37y	92.00 ± 0.00 c-i	1.28 ± 0.05o-x
		30	15.75 ± 0.60l-o	34.50 ± 1.04m-u	93.00 ± 1.91b-h	1.62 ± 0.10b-h
		60	14.25 ± 0.09p-u	32.76 ± 0.29t-v	99.00 ± 1.00ab	1.54 ± 0.04c-l
		180	14.70 ± 0.12o-s	31.97 ± 0.23m-u	94.00 ± 2.00a-g	1.35 ± 0.07l-u
		300	14.03 ± 0.09 p-t	30.77 ± 0.07vw	88.00 ± 2.31g-k	1.39 ± 0.08i-t
		420	14.00 ± 0.03q-v	29.97 ± 0.14w	84.00 ± 2.83k	1.30 ± 0.06m-w
	گواهی شده Certified	0	13.7 ± 0.46r-v	22.00 ± 0.19y	87.00 ± 1.00h-h-k	1.31 ± 0.03m-w
		30	18.52 ± 0.25d-h	36.70 ± 0.22j-p	87.00 ± 4.12h-k	1.65 ± 0.09a-f
		60	18.97 ± 0.13c-f	37.10 ± 0.14h-n	97.00 ± 1.00a-d	1.62 ± 0.11b-g
		180	19.75 ± 0.20bcd	37.87 ± 0.12g-l	95.00 ± 1.00a-f	1.67 ± 0.09a-e
		300	18.22 ± 0.21e-h	36.00 ± 0.24l-r	89.00 ± 1.00f-k	1.58 ± 0.10c-i
		420	17.77 ± 0.35fk	35.90 ± 0.18l-s	88.00 ± 4.32g-k	1.60 ± 0.08b-h
کتول Katoul	مادری Registered	0	12.65 ± 0.66v-y	30.82 ± 0.61vw	90.00 ± 1.15e-k	1.31 ± 0.03m-w
		30	16.42 ± 0.46k-n	40.55 ± 0.85c-g	100.00 ± 0.00a	1.47 ± 0.11f-o
		60	18.02 ± 0.67e-i	41.95 ± 0.51b-e	100.00 ± 0.00a	1.61 ± 0.05b-h
		180	19.75 ± 0.92bcd	43.94 ± 0.94abc	98.00 ± 1.15abc	1.73 ± 0.03abc
		300	18.37 ± 1.13d-h	42.15 ± 0.52bcd	95.00 ± 1.00a-f	1.79 ± 0.08ab
		420	17.62 ± 0.61g-k	39.35 ± 0.47e-i	94.00 ± 1.15a-g	1.50 ± 0.11d-m
	گواهی شده Certified	0	16.50 ± 0.37 j-n	30.77 ± 0.42vw	76.00 ± 0.00 l	1.38 ± 0.03j-t
		30	18.85 ± 0.89c-h	39.82 ± 0.52d-h	93.00 ± 1.00bh	1.83 ± 0.04a
		60	18.80 ± 0.10c-h	39.22 ± 0.15f-i	99.00 ± 1.00ab	1.74 ± 0.04abc
		180	19.30 ± 0.44bcd	40.17 ± 0.97d-g	94.00 ± 1.15a-g	1.69 ± 0.04a-d
		300	18.68 ± 0.50d-h	38.35 ± 0.58f-l	92.00 ± 1.63c-i	1.73 ± 0.07abc
		420	17.47 ± 0.47h-k	36.02 ± 0.29l-q	92.00 ± 2.31c-i	1.69 ± 0.03a-d
ویلیامز Williams	پایه Foundation	0	16.00 ± 0.34l-o	31.42 ± 1.02vw	76.00 ± 3.27l	1.31 ± 0.06m-w
		30	16.80 ± 0.16i-m	44.03 ± 0.18ab	98.00 ± 1.15abc	1.49 ± 0.04e-n
		60	18.65 ± 0.31d-h	44.50 ± 0.30ab	99.00 ± 1.00ab	1.61 ± 0.04b-h
		180	19.1 ± 0.37c-f	45.20 ± 0.82a	97.00 ± 1.00a-d	1.42 ± 0.10g-r
		300	18.45 ± 0.53d-h	42.90 ± 0.92abc	95.00 ± 1.00a-f	1.47 ± 0.04f-p
		420	17.85 ± 0.42f-j	40.60 ± 1.23c-g	91.00 ± 1.00d-j	1.57 ± 0.06c-j
	گواهی شده Certified	0	12.82 ± 0.43u-y	30.62 ± 0.39vw	85.00 ± 6.19jk	1.23 ± 0.03q-y
		30	15.45 ± 0.20m-p	39.05 ± 0.40f-k	96.00 ± 1.63a-e	1.55 ± 0.03c-k
		60	14.2 ± 0.21p-u	37.25 ± 0.16h-m	100.00 ± 0.00a	1.43 ± 0.06g-q
		180	13.80 ± 0.22q-v	37.00 ± 0.15i-o	96.00 ± 0.00a-e	1.58 ± 0.04c-i
		300	13.32 ± 0.15s-w	37.27 ± 0.16h-m	94.00 ± 1.15a-g	1.46 ± 0.05f-p
		420	13.90 ± 0.16t-x	37.10 ± 0.17h-n	94.00 ± 2.00a-g	1.41 ± 0.05h-s

داده ها به صورت میانگین ± خطای استاندارد میانگین (Se) بیان شدند. حروف مختلف در یک ستون نشان دهنده تفاوت‌های معنی‌دار است که توسط آزمون دانکن تعیین شده است (P = 0.01).

The data were expressed as the mean ± standard error of mean (Se). Different letters within a column indicate significant differences as determined by the Duncan test (P = 0.01)

و ویژگی های رشد گیاهچه ها داشتند. تیمار ۶۰ ثانیه بیشترین تأثیر مثبت را بر جوانه زنی بذر و ویژگی های رشد گیاهچه داشت. در حال حاضر، تیمار بذرهای پلاسما سرد در مدت زمان مناسب، تکنیکی امید بخش برای بهبود جوانه زنی بذر و رشد گیاهچه در گیاهان است. بنابراین، پرایمینگ بذر سویا با پلاسما سرد ممکن است راهکاری جدید و مناسب برای محافظت از سویا در برابر تنش های محیطی باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات تهران و مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کرج به خاطر ایجاد تسهیلات و مساعدت در انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می شود.

نتیجه گیری

پلاسما سرد می تواند تأثیر مثبتی بر جوانه زنی و رشد بذر و متعاقباً بر صفات گیاهچه ای داشته باشد. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که اثر پلاسما سرد بر پایه تخلیه سد دی الکتریک با استفاده از گاز آرگون موجب افزایش درصد پتانسیل جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، شاخص جوانه زنی، طول ریشه چه، طول گیاهچه، تعداد گیاهچه عادی و وزن خشک گیاهچه نسبت به تیمار شاهد گردید در حالی که در اکثر تیمارها، متوسط زمان جوانه زنی نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. نتایج این مطالعه نشان داد که ارقام و طبقات مختلف درون ارقام پاسخ قابل توجهی به تیمار پلاسما سرد داشتند. زمان های مختلف تیمار پلاسما تفاوت معنی داری در جوانه زنی بذر

Reference

منابع

- Dhayal, M., S.Y. Lee, and S.U. Park. 2006. Using low-pressure plasma for *Carthamus tinctorium* L. seed surface modification. Vacuum. 80(5): 499-506.
- Domonkos, M., Tichá, P., Trejbal, J. and P. Demo. 2021. Applications of Cold Atmospheric Pressure Plasma Technology in Medicine, Agric. Food Ind. Appl. Sci. 11(11). 4809. Doi:10.3390/app11114809.
- Don, R., and S. Ducournau. 2018. Handbook on seedling evaluation (3rd. Ed.). International Seed Testing Association (ISTA), Zürichstr. Bassersdorf, Switzerland.
- Fereydoni, M., and H. Alizaheh. 2022. Microscopic investigation of cold plasma effect on chickpea seed germination. J. Agric. Machinery. 12(2): 231-240. (In Persian, with English Abstract)
- Gómez-Ramírez, A., C. López-Santos, M. Cantos, J.L. García, R. Molina, J. Cotrino, J. Espinós, and A.R. González-Elipe. 2017. Surface chemistry and germination improvement of Quinoa seeds subjected to plasma activation. Sci. Rep. 7(1): 1-12.
- Goudarzi, SH., H. Ghafoorifard, S.A. Ghasemi, and A. Mazandarani. 2021. The effect of atmospheric cold plasma on the rates of germination and root length and shoot length of sesame seed. 27th Iran Nuclear Conf. Mar. 1-7. (In Persian, with English Abstract)
- Guo, Q., Y. Meng, G. Qu, T. Wang, F. Yang, D. Liang, and S. Hu. 2018. Improvement of wheat seed vitality by dielectric barrier discharge plasma treatment. Bioelectromagnetics. 39(2): 120-131.
- Hosseini, S.I., S. Mohsenimehr, J. Hadian, M. Ghorbanpour, and B. Shokri. 2018. Physico-chemical induced modification of seed germination and early development in artichoke (*Cynara scolymus* L.) using low energy plasma technology. Phys. Plasmas. 25(1): 013525.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2020. International rules for seed testing. Seed Science and Technology. International Seed Testing Association (ISTA), Zürichstr. Bassersdorf, Switzerland.

- Ji, S.H., K.H. Choi, A. Pengkit, J.S. Im, J.S. Kim, Y.H. Kim, Y. Park, E.J. Hong, S. kyung Jung, and E.H. Choi. 2016.** Effects of high voltage nanosecond pulsed plasma and micro DBD plasma on seed germination, growth development and physiological activities in spinach. *Arch. Biochem. Biophys.* 605: 117-128.
- Jiang, J.F., X. He, L. Li, J.G. Li, H.L. Shao, Q.L. Xu, H.R. Ye, and Y.H. Dong. 2014.** Effect of cold plasma treatment on seed germination and growth of wheat. *Plasma Sci. Technol.* 16: 54–58.
- Li, Y., T. Wang, Y. Meng, G. Qu, Q. Sun, D. Liang, and S. Hu. 2017.** Air atmospheric dielectric barrier discharge plasma induced germination and growth enhancement of wheat seed. *Plasma Chem. Plasma Process.* 37: 1621–1634.
- Ling, L., J. Jiafeng, L. Jiangang, S. Minchong, H. Xin, S. Hanliang, and D. Yuanhua. 2014.** Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean. *Sci. Rep.* 4(1): 1-7.
- Meng, Y., G. Qu, T. Wang, Q. Sun, D. Liang, and S. Hu. 2017.** Enhancement of germination and seedling growth of wheat seed using dielectric barrier discharge plasma with various gas sources. *Plasma Chem. Plasma Process.* 37(4): 1105-1119.
- Misra, N.N., O. Schlüter, and P.J. Cullen. 2016.** Cold plasma in food and agriculture: fundamentals and applications. Academic Press, U.S.
- Noormohammadi, Z., M. Mohammadzadeh-Shahir, D. Fahmi, S.M. Atyabi, and F. Farahani. 2019.** Induced genetic and morphological changes in *Catharanthus roseus* L. by cold atmospheric plasma. *Nova Biologica Reperta.* 6 (3): 302-310.
- Pérez-Pizá, M.C., E. Cejas, C. Zilli, L. Prevosto, B. Mancinelli, D. Santa-Cruz, G. Yannarelli, and K. Balestrasse. 2020.** Enhancement of soybean nodulation by seed treatment with non-thermal plasmas. *Sci. Rep.* 10(1): 1-12.
- Pizá, M.C.P., L. Prevosto, C. Zilli, E. Cejas, H. Kelly, and K. Balestrasse. 2018.** Effects of non-thermal plasmas on seed-borne Diaporthe/Phomopsis complex and germination parameters of soybean seeds. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.* 49: 82-91.
- Ranal, M., and D.G. De Santana. 2006.** How and why to measure the germination process? *Revista Brasileira Botanique.* 29(1): 1-11.
- Selcuk, M., L. Oksuz, and P. Basaran. 2008.** Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. *Bioresour. Technol.* 99: 5104–5109.
- Šerá, B., V. Scholtz, J. Jirešová, J. Khun, J. Julák, and M. Šerý. 2021.** Effects of non-thermal plasma treatment on seed germination and early growth of leguminous plants -A review. *Plants.* 10(8): 1616.
- Švubová, R., L. Slováková, L. Holubová, D. Rovňanová, E. Gálová, and J. Tomeková. 2021.** Evaluation of the impact of cold atmospheric pressure plasma on soybean seed germination. *Plants.* 10(1): 177.
- Tong, J., R. He, X. Zhang, R. Zhan, W. Chen, and S. Yang. 2014.** Effects of atmospheric pressure air plasma pretreatment on the seed germination and early growth of *Andrographis paniculata*. *Plasma Sci. Technol.* 16(3): 260.
- Wu, Z.H., L.H. Chi, S.F. Bian, and K.Z. Xu. 2007.** Effects of plasma treatment on maize seeding resistance. *J. Maize Sci.* 15: 111–113.
- Yin, M.Q., M.J. Huang, B.Z. Ma, and T.C. Ma. 2005.** Stimulating effects of seed treatment by magnetized plasma on tomato growth and yield. *Plasma Sci. Technol.* 7: 3143–3147.
- Zhou, Z.W., Y.F. Huang, S.Z. Yang, and W. Chen. 2011.** Introduction of a new atmospheric pressure plasma device and application on tomato seeds. *Agric. Sci.* 2: 23–27.