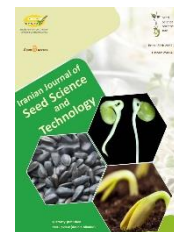




Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

Effects of seed priming using cold plasma on increasing germination and growth of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) seeds under salt stress conditions

Forough Firouzkoohi¹ , Fatemeh Nasibi^{2*} , Batool Keramat³ ,
Hadi Noori⁴ , Effat Ahmadi Mousavi⁵ 

1. PhD Student of Plant Physiology, Department of Biology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
2. Associate Professor of Plant Physiology, Department of Biology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
3. Associate Professor of Plant Physiology, Department of Biology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
4. Associate Professor of Physics, Department of Physics, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
5. PhD in Plant Physiology, Department of Biology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

Article Information

Received: 21 Nov. 2023
Revised: 26 Feb. 2024
Accepted: 05 Mar. 2024

Keywords:

Dielectric barrier discharge,
Seed germination,
Guar,
Cold plasma,
Salt stress

Corresponding Author:

nasibi.f@uk.ac.ir



Abstract

Effects of dielectric barrier discharge (DBD) helium plasma treatments on guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) seed germination and seedling growth were studied. Seeds were pretreated with 0, 1/44 and 0/68 W of cold plasma for 60 s. Salt stress experiment included three salinity levels of NaCl (0, 50 and 100 mM). Results showed that plasma treatments had positive effects on seed germination and seedling (shoot length, root length, dry and fresh weight of shoot and root). The treatment of 1.44 W of cold plasma had the most stimulating effect on the percentage of germination and growth of guar seedlings. Additionally, the application of Helium plasma treatments, considerably enhanced chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, and potassium (K⁺) content in the leaves of guar plant. Thus, cold plasma treatment can be used an ameliorative way to the enhancement germination and improve seedling growth of guar against damage caused by salt stress.

How to cite this paper: Firouzkoohi, F., Nasibi, F., Keramat, B., Noori, H., & Ahmadi Mousavi, E. (2025). Effects of seed priming using cold plasma on increasing germination and growth of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) seeds under salt stress conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14 (1), 33-51. <https://doi.org/10.22092/ijst.2024.364182.1507>



© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Salinity stress poses a significant challenge to crop growth and development, making it crucial to enhance tolerance to such stress, especially in arid and semi-arid regions. Guar seeds contain a high concentration of the natural hydrocolloid known as galactomannan, or guar gum, which is widely used across various industries. However, salinity stress adversely affects guar plants, leading to reduced growth and productivity. In recent years, non-thermal plasma technology (NTP) has gained traction in the agricultural sector. Despite this, there are currently no studies examining the effects of cold plasma on guar plants under salt stress. This study aims to investigate the impact of helium cold plasma treatment on guar plants exposed to salt stress.

Materials and Methods

This experiment investigated the effects of two different plasma input power levels: 1.44 W (current: 0.48 A, voltage: 3 V) and 0.68 W (current: 0.34 A, voltage: 2 V). High-purity helium gas (>99%) was used as the plasma carrier gas, with a flow rate of approximately 1 Liter per Minute (SLM). The seeds were exposed to cold plasma for 1 minute. Following plasma treatment, both treated and untreated (control) seeds were hydro-primed using distilled water for 12 hours. Afterward, the seeds were transferred to Petri dishes containing varying salinity levels (0, 50, and 100 mM sodium chloride). The Petri dishes were placed in a growth chamber with a 16-hour light/8-hour dark cycle at a temperature of 25 °C. After 7 days, seedlings were collected to evaluate several morphological and physiological parameters.

Results and Discussion

The results indicated that as salinity stress increased, the germination percentage and germination rate decreased. However, seed priming using cold plasma significantly improved these parameters. The highest germination percentage under salinity stress was observed with Helium 3V cold plasma pretreatment. Moreover, plasma seed priming notably enhanced the germination rate

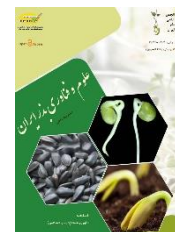
under 100 mM salinity stress at both helium 2V and 3V potential differences. Salinity stress led to reductions in both root and shoot lengths, as well as decreases in the fresh and dry weights of both shoots and roots. In contrast, seedling growth characteristics—including shoot length, root length, shoot fresh weight, root fresh weight, shoot dry weight, and root dry weight—significantly increased following cold plasma treatment. Numerous studies suggest that the improvements in seed germination and seedling growth rates attributed to plasma may be linked to enhanced water uptake by the seeds. Exposure to cold plasma can erode the seed coat, resulting in changes that increase the seed's hydrophilic properties. This enhancement significantly facilitates water absorption, which is critical for both germination and subsequent seedling growth. Under conditions of salinity stress, the contents of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids decreased, whereas these contents increased with cold plasma treatment, particularly in the He/3V treatment. As salinity levels rose, sodium (Na⁺) content increased in the roots and leaves, while potassium (K⁺) content declined in both. However, cold plasma treatment improved K⁺ levels in the leaves and roots under saline conditions and significantly reduced Na⁺ content in the leaves, thereby enhancing the K⁺/Na⁺ ratio.

Conclusion

The results of the experiment indicated that increasing salinity stress negatively affected all morphological and physiological traits of guar seedlings. However, seed priming with cold plasma significantly improved the germination, growth, and overall performance of the seedlings. Specifically, using helium dielectric barrier discharge (DBD) plasma at a power level of 1.44 watts for 60 seconds produced the best outcomes in enhancing germination and promoting seedling growth. Therefore, seed priming with cold plasma is an effective strategy for mitigating the adverse effects of salinity stress on guar seedling growth, ultimately leading to improved germination and better establishment of seedlings under such conditions.



نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

اثرات پرایمینگ بذر با استفاده از پلاسمای سرد بر افزایش جوانه‌زنی و رشد بذر گوار (*Cyamopsis tetragonoloba*) توده اصفهان در شرایط تنش شوری

فروغ فیروز کوهی^۱، فاطمه نصیبی^{۲*}، بتول کرامت^۳، هادی نوری^۴، عفت السادات احمدی موسوی^۵

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهی، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
۲. دانشیار فیزیولوژی گیاهی، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
۳. دانشیار فیزیولوژی گیاهی، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
۴. دانشیار فیزیک، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
۵. دکتری فیزیولوژی گیاهی، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

واژه‌های کلیدی:

تخلیه سد دی الکتریک،

جوانه‌زنی بذر،

گوار،

پلاسمای سرد،

تنش شوری

نویسنده مسئول:

nasibi.f@uk.ac.ir

چکیده

اثرات تخلیه سد دی الکتریک (DBD) تیمارهای پلاسمای هلیوم بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گوار (*Cyamopsis tetragonoloba*) مورد بررسی قرار گرفت. بذر با صفر، ۱/۴۴ و ۰/۶۸ وات پلاسمای سرد به مدت ۶۰ ثانیه پیش تیمار شدند. آزمایش تنش شوری شامل سه سطح شوری کلرید سدیم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) بود. نتایج نشان داد که تیمارهای پلاسما تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه (طول ساقچه، طول ریشه‌چه، وزن خشک و تر اندام هوایی و ریشه‌چه) داشتند و تیمار ۱/۴۴ وات پلاسمای سرد بیشترین اثر تحریکی را بر درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گوار داشت. همچنین، استفاده از تیمارهای پلاسمای هلیوم باعث افزایش قابل توجه کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها و پتاسیم (K⁺) در برگ های گیاه گوار شد. بنابراین تیمار با پلاسمای سرد می‌تواند به عنوان یک روش بهبود بخش برای افزایش جوانه‌زنی و بهبود رشد گیاهچه گوار در برابر آسیب های ناشی از تنش شوری مورد استفاده قرار گیرد.

نحوه استناد به این مقاله:

Firouzkoohi, F., Nasibi, F., Keramat, B., Noori, H., & Ahmadi Mousavi, E. (2025). Effects of seed priming using cold plasma on increasing germination and growth of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) seeds under salt stress conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14 (1), 33-51. <https://doi.org/10.22092/ijst.2024.364182.1507>

مقدمه

گیاه گوار (*Cyamopsis tetragonoloba*) یکی از انواع حبوبات کمتر شناخته شده است که بیشتر در مناطق خشک و نیمه خشک رشد می‌کند و به خشکی و گرما، تحمل بالایی دارد. حدود ۸۰ درصد از گوار جهان در راجستان هند به عنوان محصول دیم از جولای تا اوایل نوامبر تولید می‌شود (Acharya et al., 2022). مابقی در ایالات متحده آمریکا، برزیل، آفریقای جنوبی، مالاوی، زئیر، سودان، استرالیا و چین تولید می‌شود آندوسپرم دانه‌های گوار منبع غنی از هیدرو کلونید طبیعی (گالاکتومانان) است که به عنوان صمغ گوار (گوارگام) شناخته می‌شود. صمغ گوار در صنایع مختلفی از جمله مواد غذایی، نساجی، نفت، گاز طبیعی، معدن، داروسازی، آرایشی و بهداشتی، کاغذ و رنگ استفاده می‌شود و گوار را به یک محصول صنعتی مهم تبدیل کرده است (Sharma et al., 2018). همچنین این گیاه از لحاظ دارویی نیز با اهمیت است و فنل‌ها و فلاونوئیدهای موجود در دانه‌های گوار نقش مهمی در درمان بیماری‌های مختلف قلبی-عروقی و سیستم عصبی دارند (Hartemink et al., 1999). تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی تولید این محصول پر ارزش را به شدت کاهش می‌دهد. در میان تنش‌های غیرزیستی، شوری بسیار مخرب است که رشد، توسعه و عملکرد این محصول را به شدت کاهش می‌دهد. به طور کلی شوری شرایط محیطی نامطلوبی را ایجاد کرده که جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاه گوار را محدود و بهره‌وری آن را دچار مشکل می‌کند (Suthar et al., 2019). از این رو، یافتن راهی برای افزایش بهبود بهره‌وری گوار در شرایط شوری ضروری به نظر می‌رسد.

پلاسما سرد فشار اتمسفری^۱ (CAPP) یک گاز تا حدی یونیزه است که در فشار اتمسفر کار می‌کند و از ذرات باردار (الکترون‌ها، یون‌ها) و ذرات خنثی (اتم‌ها، مولکول‌ها) و همچنین فوتون‌ها تشکیل شده است. CAPP‌ها در صورت تعامل با گازهای مختلف مانند هوا، گونه‌های مولکولی اتمی مختلفی تولید می‌کنند. به عنوان مثال، CAPP در هوا می‌تواند گونه‌های فعال اکسیژن (ROS: Reactive oxygen species) و نیتروژن

(RNS: Reactive nitrogen species) از جمله OH ، NO_x و O_3 تولید کند (Stolarik et al., 2015). در دو دهه اخیر کاربردهای CAPP در کشاورزی و زیست‌شناسی گیاهی افزایش یافته است، به طوری که امروزه کاربرد پلاسما سرد در کشاورزی برای تیمار بذرها، گیاهان و میوه‌ها "کشاورزی پلاسما" نامیده می‌شود (Da Silva et al., 2017).

مشخص شده است که گونه‌های فعال اکسیژن با عمل به عنوان مولکول‌های سیگنال‌دهنده تکثیر و تمایز سلولی، مرگ برنامه‌ریزی شده سلولی، جوانه‌زنی بذر، زمین‌گرایی^۲، رشد تار کشته، توسعه لوله‌گرده و پیری در فرآیندهای رشد گیاه شرکت می‌کنند (Choudhury et al., 2017).

برای بذرها، که محور اصلی این مطالعه هستند، نشان داده شده است که CAPP سطوح دانه‌ها را با تولید ROS ضد عفونی و استریل می‌کند که می‌تواند درصد بذرهای جوانه زده را افزایش دهد (Randeniya et al., 2015). پلاسما همچنین می‌تواند سرعت جوانه‌زنی بذر را افزایش داده و رشد گیاه را تسریع کند (Volkov et al., 2019). به طور معمول جوانه‌زنی با جذب آب آغاز می‌شود که منجر به فعال شدن متابولیسم، کانال‌های یونی و سایر فرآیندها می‌شود. گزارش شده است که CAPP می‌تواند جذب آب بذرهای گیاهانی مانند عدس، لوبیا و گندم را افزایش دهد (Burin et al., 2015). پلاسما اتمسفری سرد (غیر حرارتی) از طریق (۱) قرار گرفتن مستقیم بذر در معرض پلاسما یا (۲) پرایمینگ بذر با آب فعال شده با پلاسما (PAW) می‌تواند جوانه‌زنی بذر را بهبود بخشد (Adhikari et al., 2020).

در دهه گذشته، تعداد مقالات منتشر شده در مورد استفاده از پلاسما سرد در کشاورزی افزایش یافته است. چندین محقق بهبود موثر جوانه‌زنی و رشد گونه‌های گیاهی مانند گندم (Li et al., 2017; Roy et al., 2018; Meng et al., 2017)، ذرت (Ling et al., 2014; Filatova et al., 2014)، دانه‌های سویا (Zhang et al., 2017)، ماش (Sadhu et al., 2017) تریچه (Shiratani et al., 2016; Sarinont et al., 2016; Mihai et al., 2014)، نخود (Gao et al., 2019; Švubová et al., 2020) و برنج

¹ Cold atmospheric-pressure plasma (CAPP)

² Gravitropism

بهمن ماه ۱۴۰۱ ساخته شد. در شکل شماره ۱ تصویر شماتیکی از دستگاه نمایش داده شده است. مجموعه الکترودها در محفظه‌ای از جنس تفلون جای گرفته است و بخش‌هایی برای مجموعه‌ای اتصالات ورودی و خروجی گاز و منبع تغذیه تعبیه شده است. اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو الکتروود توسط یک منبع تغذیه مستقیم پالسی با فرکانس ۲۰۰ هرتز و ارتفاع پالسی ۵ کیلو ولت تامین می‌شود. همچنین از یک حلقه عایق برای تنظیم فاصله بین دو الکتروود و همچنین نگهدارنده بذرها در ناحیه مرکزی الکترودها که پلاسمایی تقریباً یکنواخت دارد، استفاده شده است. در این آزمایش اثر دو توان الکتریکی متفاوت ورودی پلاσμα یعنی ۱/۴۴ وات (جریان: ۰/۴۸/ولتاژ: ۳ ولت) و ۰/۶۸ وات (جریان: ۰/۳۴/ولتاژ: ۲ ولت) بررسی گردید. همچنین از گاز هلیوم با خلوص بالاتر از ۹۹ درصد و جریان تقریبی ۱ لیتر در دقیقه (SLM)² به عنوان گاز زمینه محیط پلاσμα استفاده گردید.

تیمار بذری گوار با پلاσμα

در این آزمایش پیش تیمارهای مورد استفاده شامل: بذریهای تیمار شده با پلاسمای سرد با ولتاژ ۲ ولت و بذریهای تیمار شده با پلاسمای سرد با ولتاژ ۳ ولت بود. بدین منظور توده بذری گوار در آبان ماه ۱۴۰۰ از شهرستان مبارکه اصفهان در ۴۵ کیلومتری جنوب غرب شهر اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا جمع آوری شد. بذرها به مدت ۱ دقیقه تحت تاثیر پلاسمای سرد قرار گرفتند. بذریهای شاهد تحت تاثیر پلاσμα قرار نگرفتند. در این آزمایش از گاز هلیوم برای تولید پلاσμα استفاده شد. سپس بذریهای تیمار شده با پلاσμα و بذریهای شاهد پس از ۱۲ ساعت هیدروپرایمینگ با آب مقطر، به پتری‌های حاوی سطوح مختلف شوری (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم) منتقل شدند. پتری‌ها در اتاقک رشد با ۱۶ ساعت روشنایی، ۸ ساعت تاریکی و دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. گیاهچه‌ها پس از مدت ۷ روز جهت سنجش برخی پارامترهای مورفولوژی و فیزیولوژی جمع آوری گردیدند.

(Khamseen et al., 2016) تحت تاثیر پلاسمای سرد را گزارش کرده‌اند. مطالعات نشان داده است که قرار گرفتن بذری در معرض پلاσμα جذب آب را بهبود می‌بخشد؛ همچنین زاویه تماس سطح آن را کاهش می‌دهد و آب با اتصال پیوندهای شیمیایی جدید به سطح، پوشش دانه را فعال می‌کند (Gómez et al., 2017). علاوه بر تغییرات فیزیکی در سطح بذری، تغییرات فیزیولوژیکی در گیاهچه همراه با اثرات بر رشد و نمو آن و بهبود تحمل در برابر تنش‌های مختلف نیز مشاهده شده است (Lu et al., 2016). بسته به منبع پلاσμα و شرایط تیمار، اثرات منفی بر روی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نیز مشاهده شده است (Cui et al., 2019). بنابراین، نوع تیمار (مستقیم یا غیرمستقیم)، پیکربندی راکتور، نوع گاز و پارامترهای الکتریکی بر روی جوانه‌زنی و رشد گیاهان تاثیرات مختلف خواهد داشت (Sera et al., 2012). پلاسماهای سرد را می‌توان در فشار اتمسفر با استفاده از پیکربندی‌های مختلف راکتور تولید کرد. راکتورهای تخلیه سد دی-الکتریک (DBD)³ انعطاف پذیری زیادی در مورد آرایش الکترودها ارائه می‌دهند و می‌توانند مناسب‌ترین انتخاب برای تیمار مستقیم بذرها باشند (Brandenburg et al., 2017). با توجه به اهمیت اقتصادی و پزشکی گیاه گوار و بررسی مطالعات انجام گرفته بر اثرات مثبت کاربرد پلاسمای سرد در کشاورزی، ما در این تحقیق نقش پرایمینگ بذری با استفاده از پلاسمای سرد ایجاد شده توسط گاز هلیوم، بر میزان تحمل تنش شوری در گیاه گوار را مورد بررسی قرار دادیم. هدف ما تعیین تاثیر پلاσμα بر جوانه‌زنی و برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه گوار تحت تنش شوری می‌باشد.

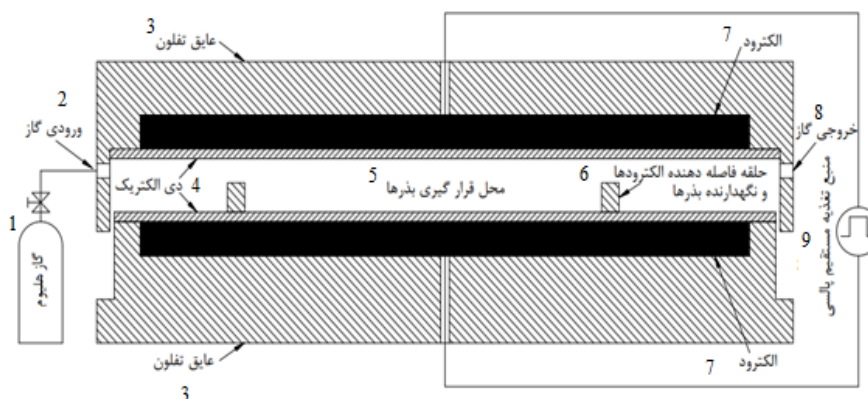
مواد و روش‌ها

منبع پلاσμα

برای تولید پلاسمای سرد اتمسفری یک راکتور تخلیه سد دی الکتریک (DBD) تشکیل شده از دو الکتروود آلومینیومی تخت که توسط لایه‌ای دی الکتریک با کلاس عایقی F پوشانده شده‌اند، در آزمایشگاه فیزیک پلاسمای دانشگاه شهید باهنر کرمان در

³ Dielectric barrier discharge

² Standard Liters Per Minute



شکل ۱- تصویر شماتیکی از سیستم DBD فشار اتمسفری طراحی شده جهت تیمار بذر. (۱) گاز هلیوم (۲) ورودی گاز (۳) عایق تفلون (۴) دی الکتریک (۵) محل بذر (۶) حلقه فاصله دهنده الکترودها و نگهدارنده بذر (۷) الکترود (۸) خروجی گاز (۹) منبع تغذیه مستقیم پالسی

Figure 1- Schematic of the atmospheric pressure DBD system. (1) Helium gas (2) Gas inlet (3) Teflon insulation (4) Dielectric (5) The location of the seeds (6) Electrode spacer ring and seed holder (7) Electrode (8) Gas outlet (9) Direct pulse power supply

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل (a و b و کل) و کاروتنوئید

برای اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئید) از روش (Lichtenthaler, 1987) استفاده شد. بدین ترتیب که ۰/۲ گرم از گیاهچه گوار با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن و سپس در هاون چینی با سه میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد به خوبی سائیده شد و پس از سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۴۰۰۰ در دقیقه، جذب محلول رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر Carry 50 (ساخت کشور استرالیا) در سه طول موج ۶۴۷، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل و کاروتنوئیدها با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند:

$$\text{Chl}_a (\mu\text{g/ml}) = 12/25 A_{663.2} - 2/79 A_{646.8}$$

$$\text{Chl}_b (\mu\text{g/ml}) = 21/21 A_{646.8} - 5/1 A_{663.2}$$

$$\text{Chl}_t (\text{Chl}_a + \text{Chl}_b) = 7/15 A_{663.2} + 18/71 A_{646.8}$$

$$\text{Car} + X (\mu\text{g/ml}) = (1000 A_{470} - 1.8 \text{Chl}_a - 85/02 \text{Chl}_b) / 198$$

اندازه‌گیری غلظت سدیم و پتاسیم

محتوای پتاسیم و سدیم با روش نورسنجی شعله‌ای اندازه‌گیری شد. نمونه‌های برگ و ریشه خشک و پودر شدند. سپس به ۰/۲ گرم برگ و ریشه پودر شده ۵ cc اسید نیتریک اضافه گردید. پس از گذشت ۴۸ ساعت، مخلوط‌ها روی هیتر در دمای ۹۰ درجه سلسیوس به مدت حداقل ۴ ساعت حرارت داده شدند تا هضم اسیدی صورت گرفته و گازهای سمی خارج شوند. محلول حاضر توسط آب دیونیزه به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسیده و

محاسبه درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه

در این تحقیق آزمایش‌های جوانه‌زنی بلافاصله پس از اعمال تیمارها و قرار گرفتن در پتری‌ها آغاز شد. بدین منظور تعداد ۱۵ بذر در هر پتری روی لایه‌های کاغذی که با ۸ میلی‌لیتر محلول حاوی سطوح مختلف شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم) مرطوب شده بودند قرار گرفتند. پس از کاشت بذر، ظروف پتری به جهت حفظ تعادل رطوبتی در دمای محیط آزمایشگاه (۲۵ درجه)، در اتاق کشت (ساخت شرکت نور صنعت آزما تهران) در دمای (۱۶±۲۳: ۲±۲۳) درجه سلسیوس (تاریکی/نور) تحت شرایط نوری (۸:۱۶) (تاریکی/نور) بر اساس دستورالعمل ایستا (ISTA, 2017) قرار گرفتند.

جوانه‌زنی بذر در فواصل منظم یک ساعته یادداشت شد. خاطر نشان می‌گردد زمانی که طول ریشه‌چه به حداقل ۱ میلی‌متر رسید، بذرهای جوانه زده در نظر گرفته شدند.

درصد جوانه‌زنی (GP) بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\text{GP}(\%) = \frac{\text{Ni}}{\text{N}} * 100 \quad (1)$$

که در آن Ni مربوط به تعداد بذرهای جوانه زده در یک بازه زمانی معین است و N مربوط به تعداد کل بذر در هر ظرف پتری است. همچنین طول ریشه و هیپوکوتیل بذرهای جوانه زده، در مراحل اولیه رشد گیاهچه‌ای (۷ روز پس از زمان کاشت) اندازه‌گیری و ثبت گردید.

در تنش شوری یکی از بحرانی ترین مراحل در استقرار گیاهچه می باشد و گیاهان در طول مراحل جوانه زنی و رشد اولیه گیاهچه به شدت در برابر تنش شوری آسیب پذیر هستند (Ungar, 1996). اخیراً فناوری پلاسما توجه محققان را برای بهبود صفات و افزایش عملکرد خصوصاً در گیاهان زراعی به خود جلب کرده است (Nishime et al., 2020). در این رابطه منگ و همکاران اظهار داشتند که تیمار دانه های گندم با پلاسما DBD گازه های تغذیه کننده هوا، نیتروژن و آرگون باعث افزایش جوانه زنی دانه های گندم می شود (Meng et al., 2017).

Dhayala et al. (2006) نشان دادند که اثرات یک تیمار کوتاه مدت پلاسما کم فشار بر روی جوانه زنی بذر گلرنگ بسیار موثرتر از تیمار طولانی مدت پلاسما با فشار بالا بود. همچنین Selcuk et al. (2008) دریافتند که تیمار پلاسما به طور قابل توجهی جوانه زنی بذر گوجه فرنگی را افزایش داد. در پژوهش دیگر بذر دو موتانت آرآیدوپسیس، *gl2* و *gpat5*، در معرض پلاسما DBD قرار گرفتند و کارایی جوانه زنی بذر تحت تنش شوری ارزیابی شد و گزارش شد که پلاسما با ایجاد تغییرات ساختاری در لایه های بذر باعث کاهش نفوذپذیری و کاهش اثرات تنش شوری بر جوانه زنی بذر می شود (Bafoil et al., 2019). در این آزمایش نیز پرایمینگ بذر با پلاسما سرد هلیوم اثرات منفی تنش شوری بر درصد جوانه زنی بذرهای گوار را به طور متفاوت و معنی داری کاهش داد (شکل ۲).

سپس فیلتر گردید. در نهایت این محلول قابل تزریق به دستگاه فلیم فتومتر می باشد. برای محاسبه غلظت سدیم و پتاسیم از منحنی استاندارد استفاده شد.

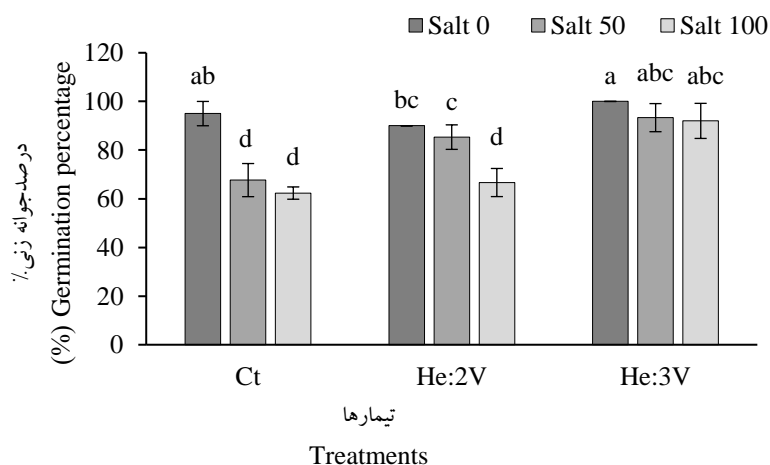
تجزیه آماری

تجزیه واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن مقایسه شدند ($p < 0.05$). داده ها با استفاده از برنامه Excel و SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج و بحث

اثر بر خصوصیات مورفولوژیکی درصد جوانه زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که درصد جوانه زنی به طور معنی دار ($P < 0.05$) تحت تاثیر تنش شوری و پیش تیمار بذرها توسط پلاسما سرد بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که با افزایش تنش شوری درصد جوانه زنی کاهش یافت و با استفاده از پرایمینگ بذرها با پلاسما سرد افزایش معنی داری یافت (شکل ۲). به طوریکه کمترین درصد جوانه زنی ۶۲٪ و ۶۷٪ در شرایط تنش شوری (به ترتیب در ۱۰۰ و ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم) و عدم پیش تیمار و بیشترین درصد جوانه زنی ۱۰۰٪ در شرایط پیش تیمار با پلاسما سرد هلیوم با ولتاژ ۳ ولت و عدم وجود تنش شوری حاصل شد. بیان شده است که جوانه زدن بذر



شکل ۲- اثر پرایمینگ بذر با پلاسما سرد هلیوم با ولتاژهای ۲ و ۳ ولت بر درصد جوانه زنی بذر گوار تحت تنش شوری.

Figure 2- Effect of seed priming with helium cold plasma by voltage of 2 and 3 volt on germination percentage of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) seeds under salt stress

جدول ۱- تجزیه واریانس (ANOVA) صفات مورد مطالعه در گیاه گوار تحت تیمار پلاسما سرد و شرایط تنش شوری.

Table 1- Analysis of variance (ANOVA) for traits studied in guar plant under cold plasma treatment and salinity stress conditions.

صفات مورد مطالعه	منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	نتیجه آزمون
Traits studied	Source of variations	df	Mean Square	Sig.
درصد جوانه‌زنی	بین گروه‌ها	8	600.398	**
Germination percentage	Between groups	8	600.398	**
سرعت جوانه‌زنی	بین گروه‌ها	8	0.136	**
Germination rate	Between groups	8	0.136	**
طول ریشه‌چه	بین گروه‌ها	8	2476.892	**
Root length	Between groups	8	2476.892	**
طول ساقه‌چه	بین گروه‌ها	8	94.091	**
Shoot length	Between groups	8	94.091	**
وزن تر ریشه‌چه	بین گروه‌ها	8	0.001	**
Root fresh weight	Between groups	8	0.001	**
وزن تر ساقه‌چه	بین گروه‌ها	8	0.002	**
Shoot fresh weight	Between groups	8	0.002	**
وزن خشک ریشه‌چه	بین گروه‌ها	8	0.000	**
Root dry weight	Between groups	8	0.000	**
وزن خشک ساقه‌چه	بین گروه‌ها	8	0.000	**
Shoot dry weight	Between groups	8	0.000	**
کلروفیل a	بین گروه‌ها	8	178	**
Chlorophyll a	Between groups	8	178	**
کلروفیل b	بین گروه‌ها	8	0.014	**
Chlorophyll b	Between groups	8	0.014	**
کلروفیل کل	بین گروه‌ها	8	0.290	**
Total chlorophyll	Between groups	8	0.290	**
کاروتنوئیدها	بین گروه‌ها	8	3.159	**
Carotenoids	Between groups	8	3.159	**
محتوای پتاسیم ریشه‌چه	بین گروه‌ها	8	176.192	**
Root K ⁺ content	Between groups	8	176.192	**
محتوای پتاسیم برگ	بین گروه‌ها	8	36.463	**
Leaf K ⁺ content	Between groups	8	36.463	**
محتوای سدیم ریشه‌چه	بین گروه‌ها	8	9.183	**
Root Na ⁺ content	Between groups	8	9.183	**
محتوای سدیم برگ	بین گروه‌ها	8	9.768	**
Leaf Na ⁺ content	Between groups	8	9.768	**

ns, * و ** به ترتیب فاقد معنی‌داری، معنی‌دار شدن در سطح آماری ۵ و ۱ درصد.

ns, * and **: no significance, significance at the statistical level of 5 and 1 percent, respectively.

سرعت جوانه‌زنی

گرفت. پرایمینگ بذر با پلاسما باعث شد که سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در هر دو اختلاف پتانسیل ۲ و ۳ ولت افزایش معنی‌داری نشان دهد. تحقیقات زیادی در خصوص اثرات پلاسما سرد بر افزایش سرعت جوانه‌زنی انجام شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. بررسی‌ها نشان داده است که تیمار پلاسما می‌تواند سرعت جوانه‌زنی را در شرایط خشکی، شوری و سرما بهبود بخشد.

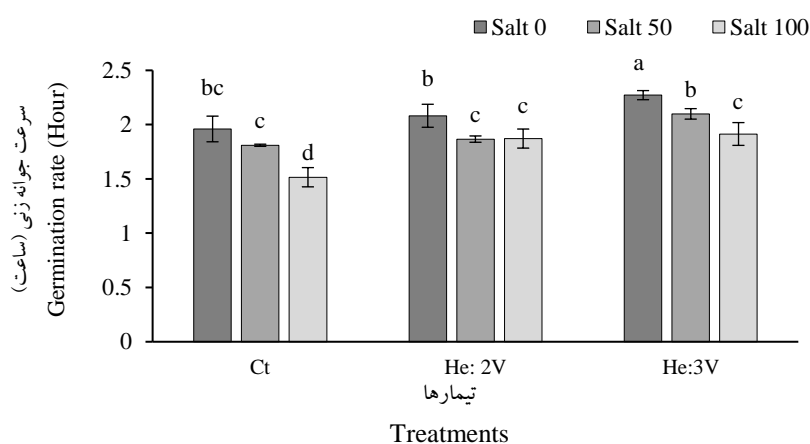
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سرعت جوانه‌زنی بطور معنی‌داری ($P < 0.05$) تحت تاثیر اثرات تنش شوری قرار گرفت (جدول ۱). نتایج نشان داد که با افزایش شوری از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت (شکل ۳). این در حالی است که در تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار از نظر سرعت جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج تحقیق همچنین نشان داد که سرعت جوانه‌زنی بطور معنی‌دار تحت تاثیر پلاسما سرد قرار

بذر افزایش می‌یابد. RNS از طریق آکسیداسیون (AQP) نفوذ می‌کند که باعث افزایش محتوای کمپلکس نیتروژن می‌شود. بنابراین می‌توان فرض کرد که افزایش مقدار نیتروژن به جذب بهتر آب کمک می‌کند (Billah et al., 2020).

افزایش سرعت جوانه‌زنی بذر به دنبال تیمار با پلاسما سرد در گندم نیز گزارش شده است (Sera et al., 2010). محققان دیگری نشان دادند که تیمار (۷ دقیقه) پلاسما سرد (در فشار کم) محتوای GA (اسید جیبرلیک) و سرعت جوانه‌زنی بذرهای آفتابگردان را در حدود ۲۴-۱۰ درصد افزایش داد (Mildažienė et al., 2019). در بررسی دیگری بر بذرهای انگور بیان شد که تمام تیمارهای پلاسما سرعت جوانه‌زنی را نسبت به تیمار شاهد تا بیش از دو برابر افزایش دادند و گفته شد که اثر پلاسما تا حدودی به دلیل تسریع در جذب آب است که این امر استقرار و رشد نهال را بهبود می‌بخشد (Tounekti et al., 2018). بر اساس نتایج این آزمایش نیز تیمار بذر با پلاسما سرد منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی (در شاهد و تنش شوری) شد.

(Perea-Brenes et al., 2023). گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) بسته به دوز آنها عملکرد مثبت و منفی در جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه دارند. از سوی دیگر، گونه‌های نیتروژن فعال (RNS) نیز در شکستن خواب بذر، جوانه‌زنی بذر و همچنین در مراحل مختلف رشد و نمو گیاه از سوی دیگر، گونه‌های نیتروژن فعال (RNS) نیز نقش مهمی در شکستن خواب بذر، جوانه‌زنی بذر و همچنین در مراحل مختلف رشد و نمو گیاه نقش مهمی دارند. همچنین مشاهده شده است که ROS و RNS هر دو در مسیرهای سیگنالینگ مربوط به جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه شرکت می‌کنند (Muller et al., 2009).

اگرچه مکانیسم جذب آب توسط بذرهای تیمار شده با پلاسما بسیار پیچیده است اما پوشش بذر با حای میکروپیل است بنابراین منطقی است که در نظر بگیریم که ممکن است به دلیل فعل و انفعالات با گونه‌های اکسیژن و یا نیتروژن فعال شده با پلاسما، منافذ بذر بزرگتر شوند و به جذب بیشتر و سریع تر آب کمک کنند. به دلیل تیمار پلاسما، میزان گونه‌های فعال نیتروژن (RNS) در پوشش



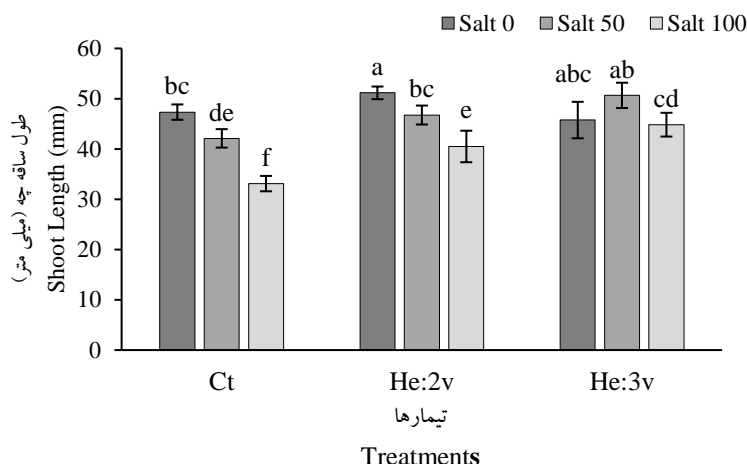
شکل ۳- اثر پرایمینگ بذر با پلاسما سرد هلیوم با ولتاژهای ۲ و ۳ ولت بر سرعت جوانه‌زنی بذر گوار تحت تنش شوری.

Figure 3- Effect of seed priming with helium cold plasma by voltage of 2 and 3 volt on germination rate of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) seeds under salt stress.

است کمترین طول ساقچه به شوری ۱۰۰ میلی‌مولار (۳۳ میلی‌متر) بود (شکل ۴). بیشترین طول ساقچه در پیش تیمار پلاسما سرد هلیوم با ولتاژ ۲ ولت در شرایط عدم تنش شوری بدست آمد که از نظر آماری با پلاسما سرد ۳ ولت هلیوم تفاوت معنی‌داری نداشت.

طول ساقچه

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثرات تنش شوری و پیش تیمار بذر با پلاسما سرد بر طول ساقچه معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که شوری باعث کاهش معنی‌دار طول ساقچه نسبت به گیاهان شاهد شده



شکل ۴- اثر پرایمینگ بذر با پلاسما سرد هلیوم با ولتاژهای ۲ و ۳ ولت بر طول ساقه‌چه گیاه گوار تحت تنش شوری.
Figure 4- Effect of seed priming with helium cold plasma by voltage of 2 and 3 volt on shoot length of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) plant under salt stress.

داشت (جدول ۱). نتایج نشان داد کمترین طول ریشه‌چه (۳۰ میلی‌متر) در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و بیشترین طول ریشه‌چه (۱۰۵ میلی‌متر) در شرایط عدم تنش شوری و پیش تیمار با پلاسما سرد هلیوم با ولتاژ ۳ ولت حاصل شد (شکل ۶). در شرایط شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار هر دو پیش تیمار پلاسما سرد هلیوم (۲ و ۳ ولت) نسبت به شرایط عدم پیش تیمار افزایش معنی‌داری داشتند.

تحقیقات نشان داده است که RONS تولید شده از CAPP می‌تواند سرعت جوانه‌زنی، مورفولوژی گیاه (طول ساقه و ریشه، سطح برگ و...)، بیان ژن و فرآیندهای بیوشیمیایی (تغییر در هورمون‌ها، اسیدهای آمینه، آنتی‌اکسیدان‌ها، سطح قند محلول، محتوای کلروفیل و...) را تغییر دهد. به عنوان مثال، در حضور تیمار پلاسما فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر، تولید هورمون‌های رشد و سنتز متابولیت‌ها منجر به بهبود درصد جوانه‌زنی و افزایش رشد و عملکرد گیاه خواهد شد (Attri et al., 2020). همچنین مشخص شده است که تیمارهای خفیف پلاسما رشد اولیه را تسریع می‌کنند و نسبت ریشه به ساقه را افزایش می‌دهد (Dobrin et al., 2015). نتایج یک تحقیق بر روی بذرها (برنج در *Oryza sativa* L.) نشان داد که قرار گرفتن دانه‌های برنج در معرض مستقیم پلاسما DBD باعث تسریع در جوانه‌زنی و افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه شد (El Shaer et al., 2023). نتایج حاضر

نتایج یک تحقیق نشان داد که پیش تیمار بذرها گندم با پلاسما DBD باعث بهبود رشد بذرها گندم، افزایش طول ساقه، طول ریشه و وزن تر و خشک نسبت به تیمار شاهد شد (Guo et al., 2018). همچنین در این آزمایش طول ساقه‌چه گیاهچه‌های گوار به‌طور معنی‌داری تحت تاثير پیش تیمار پلاسما سرد قرار گرفت. شکل شماره ۵ تصویر گرفته شده نیز کاهش رشد گیاهچه تحت تنش شوری را به وضوح نشان می‌دهد. در این تصویر مشاهده می‌شود که پیش تیمار بذرها با پلاسما در هر دو شرایط عدم شوری و شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار اثر معنی‌داری بر رشد گیاهچه‌ها در مقایسه با نمونه‌های پیش تیمار نشده داشته است.

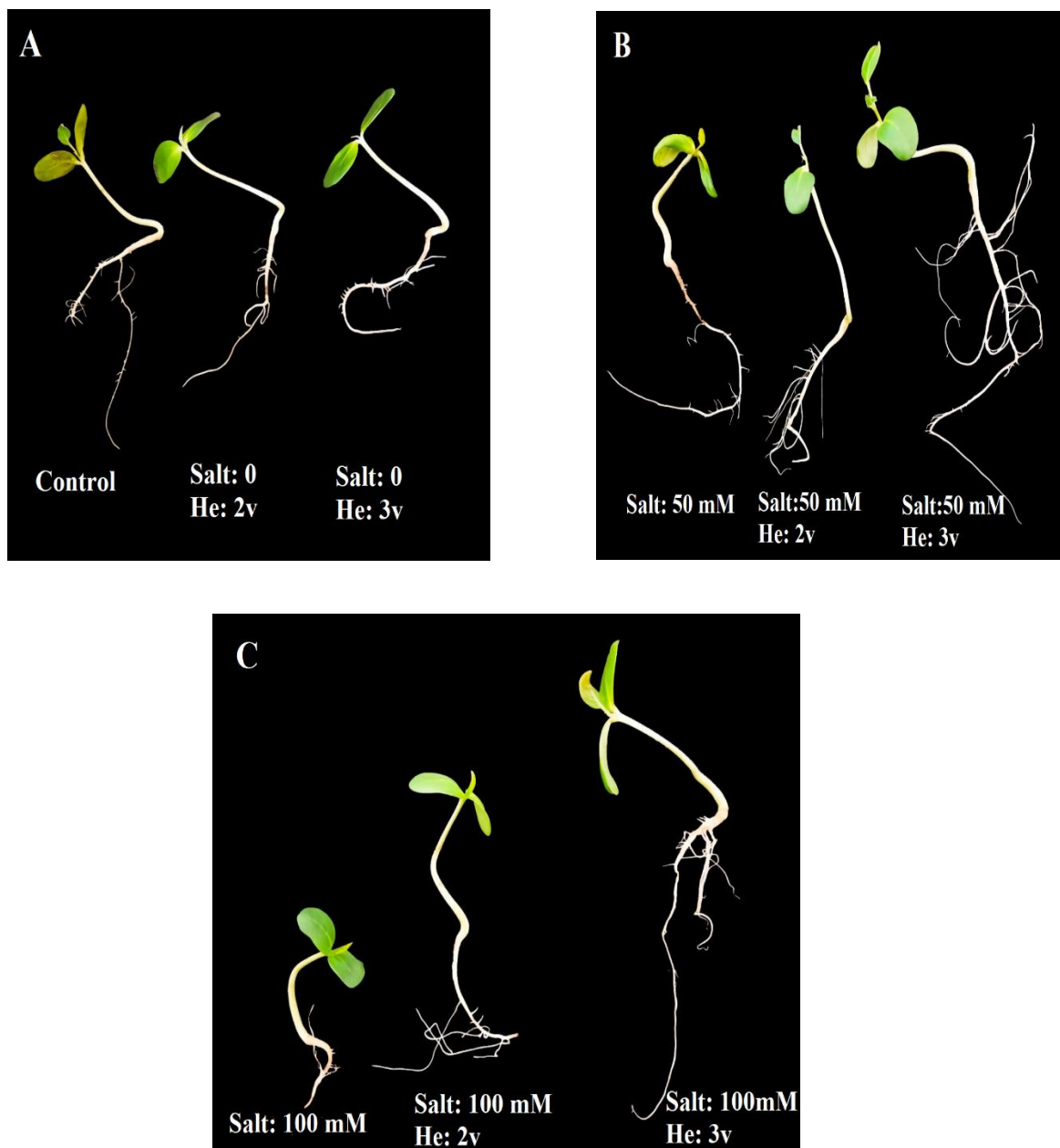
در پژوهشی دیگر بر روی جوانه‌زنی و رشد ماش سیاه (*Vigna mungo* L.) گزارش شده است که افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در تیمار پلاسما DBD به دلیل افزایش محتوای نیتروژن در پوشش بذرها تیمار شده می‌باشد. به این صورت که با تیمار پلاسما محتوای نیتروژن در بذرها افزایش می‌یابد و این افزایش از طریق تولید اسید آمینه و پروتئین‌ها باعث بهبود رشد گیاهچه‌ها می‌شود (Billah et al., 2020).

طول ریشه‌چه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری و پیش تیمار پلاسما سرد در سطح ۵ درصد تاثیر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه

خشک اندام‌های هوایی زمانی که تحت پیش تیمار پلاسما قرار گرفتند در مقایسه با شاهد افزایش بیشتری نشان دادند.

نشان داد که استفاده از پیش تیمار پلاسما باعث افزایش طول ریشه‌چه گیاهچه‌های گوار در شرایط مختلف شوری شد. در مجموع، طول و وزن خشک ریشه‌ها نسبت به طول و وزن



شکل ۵- نمونه‌هایی از عکس‌های گرفته شده از گیاهچه‌های گوار ۷ روزه تحت شرایط کنترل (A)، شوری ۵۰ میلی‌مولار (B) و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار (C).
Figure 5- Examples of photographs taken from 7 days-old guar seedlings under control (A), 50 mM salinity (B) and 100mM salinity (C) condition.

پلاسمای سرد بود (جدول ۱). در این پژوهش کاهش وزن تر ریشه‌چه از ۰/۰۵۶ گرم در نمونه‌های کنترل به ۰/۰۱۸ گرم در نمونه‌های تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل

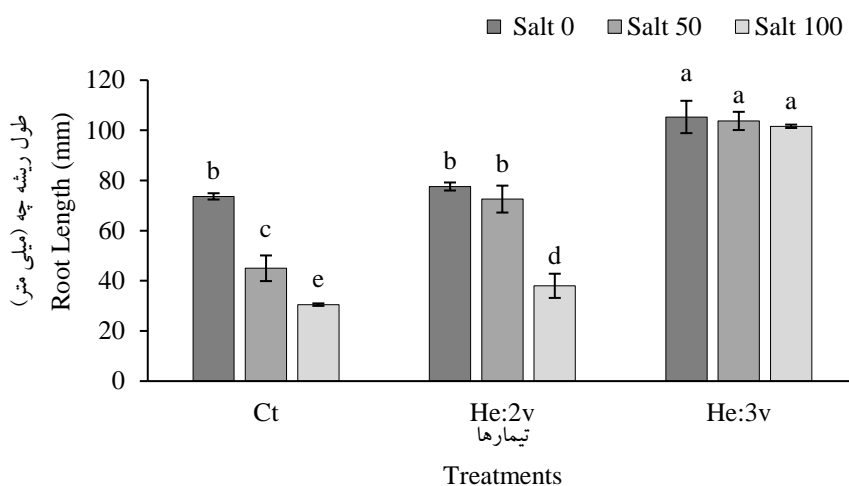
وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) تحت تاثیر تنش شوری و پیش تیمار

کنترل اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۸). همچنین بیشترین وزن تر ساقه‌چه در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مربوط به اختلاف پتانسیل ۳ ولت هلیوم بود که از نظر آماری با اختلاف پتانسیل ۲ ولت هلیوم یکسان بود.

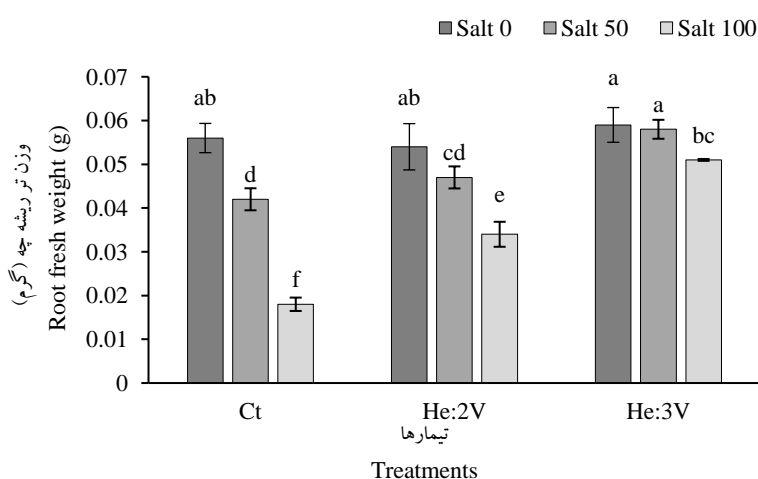
بر اساس نتایج یک تحقیق، تأثیر مثبت تیمار پلاسما سرد بر رشد بر رشد اولیه نهال‌ها (طول، وزن تر و خشک) مشاهده شده است (Henselová et al., 2012) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

۷). پیش تیمار بذر با پلاسما ۲ و ۳ ولت باعث افزایش وزن ریشه‌چه در شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار گردید. در مقایسه دو نوع پلاسما سرد بکار رفته، اثر پلاسما سرد با ولتاژ ۳ ولت بیشتر از اثر پلاسما سرد با ولتاژ ۲ ولت بود. بیشترین وزن تر ریشه‌چه در تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار و ۱۰۰ میلی‌مولار به ترتیب مربوط به پیش تیمار با پلاسما سرد گاز هلیوم با اختلاف پتانسیل ۳ ولت (به ترتیب ۰/۰۵۸ گرم و ۰/۰۵۱ گرم) بود. در شرایط فاقد تنش شوری وزن تر ساقه‌چه در انواع تیمار پلاسما نسبت به شرایط



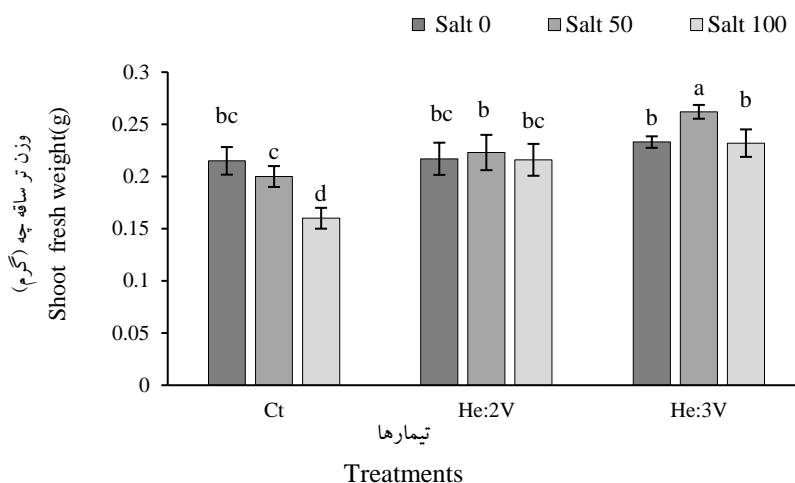
شکل ۶- اثر پرایمینگ بذر با پلاسما سرد هلیوم با ولتاژهای ۲ و ۳ ولت بر طول ریشه‌چه گیاه گوار تحت تنش شوری.

Figure 6- Effect of seed priming with helium cold plasma by voltage of 2 and 3 volt on root length of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) plant under salt stress.



شکل ۷- اثر پرایمینگ بذر با پلاسما سرد هلیوم با ولتاژهای ۲ و ۳ ولت بر وزن تر ریشه‌چه گیاه گوار تحت تنش شوری.

Figure 7- Effect of seed priming with helium cold plasma by voltage of 2 and 3 volt on root fresh weight of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) plant under alt stress.



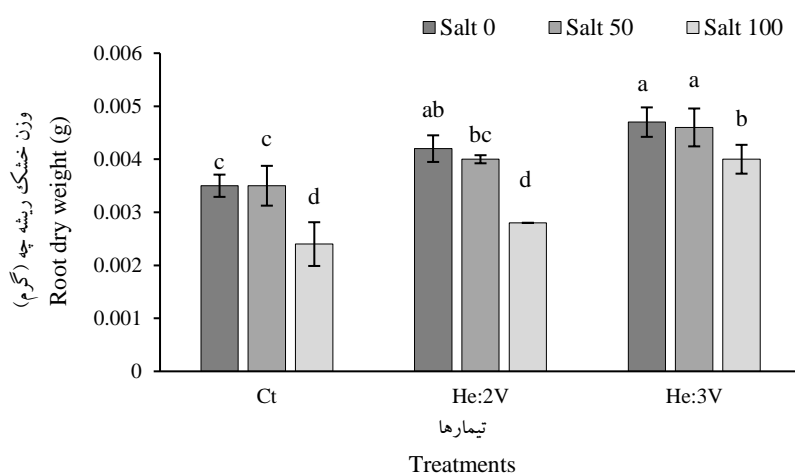
شکل ۸- اثر پرایمینگ بذر با پلاسمای سرد هلیوم با ولتاژهای ۲ و ۳ ولت بر وزن ترساقچه گیاه گوار تحت تنش شوری.

Figure 8- Effect of seed priming with helium cold plasma by voltage of 2 and 3 volt on shoot fresh weight of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) plant under salt stress.

وزن خشک ریشه چه و ساقه چه

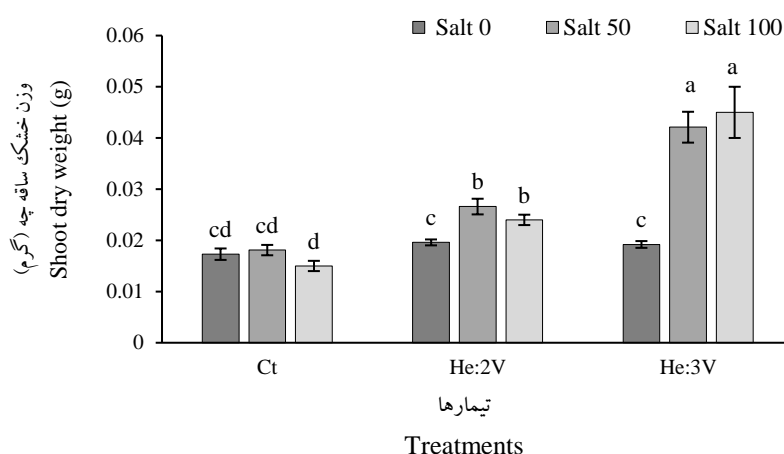
ریشه چه در شوری ۵۰ میلی مولار و ۱۰۰ میلی مولار مربوط به اختلاف پتانسیل ۳ ولت هلیوم (به ترتیب ۰/۰۰۴۶ و ۰/۰۰۴۰ گرم) بود. وزن خشک ساقه چه در سطح شوری صفر در هردو تیمار هلیوم از نظر آماری تفاوت معناداری با کنترل نداشتند (شکل ۱۰). بیشترین میزان وزن خشک ساقه چه در هردو سطح تنش شوری (۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار) مربوط به اختلاف پتانسیل ۳ ولت هلیوم بود (به ترتیب ۰/۰۴۵ و ۰/۰۴۲ گرم).

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر تنش شوری و پیش تیمار پلاسمای سرد بر وزن خشک ریشه چه و ساقه چه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۱). کاهش وزن خشک ریشه چه از ۰/۰۰۳۵ گرم در کنترل به ۰/۰۰۲۴ گرم در شوری ۱۰۰ میلی مولار متغیر بود (شکل ۹). در شوری ۵۰ میلی مولار، وزن خشک ریشه چه و ساقه چه از نظر آماری تفاوتی با سطح بدون تنش نداشت. همچنین بالاترین میزان وزن خشک



شکل ۹- اثر پرایمینگ بذر با پلاسمای سرد هلیوم با ولتاژهای ۲ و ۳ ولت بر وزن خشک ریشه چه گیاه گوار تحت تنش شوری.

Figure 9- Effect of seed priming with helium cold plasma by voltage of 2 and 3 volt on shoot dry weight of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) plant under salt stress.



شکل ۱۰- اثر پرایمینگ بذر با پلاسما سرد هلیوم با ولتاژهای ۲ و ۳ ولت بر وزن خشک ساقچه گیاه گوار تحت تنش شوری.

Figure 10- Effect of seed priming with helium cold plasma by voltage of 2 and 3 volt on shoot dry weight of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) plant under salt stress.

اختلاف پتانسیل ۳ ولت هلیوم در هردو شرایط تنش شوری و بدون شوری نسبت به شاهد افزایش یافته است. همچنین کلروفیل a و b در شوری ۵۰ میلی مولار در بذرهای تحت تیمار با پلاسما DBD هلیوم با اختلاف پتانسیل ۲ ولت نسبت به شاهد افزایش معنی داری نشان داد. در پژوهشی گزارش شده است که تیمار پلاسما سرد در گیاه شنبلله منجر به افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید شد که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت داشت (Ebrahimibasabi et al., 2020). در آزمایشی دیگر گزارش شد که مقدار نسبی کلروفیل در نهال‌های اسفناج رشد یافته از دانه‌های تیمار شده با پلاسما DBD در تیمارهای ۳۰ ثانیه، ۱ دقیقه و ۳ دقیقه افزایش یافت (Ji et al., 2016). در این تحقیق نیز پیش تیمار بذر با پلاسما سرد اتمسفری باعث افزایش غلظت کلروفیل نسبت تیمار شاهد شد. برخی از محققین دلیل آن را به افزایش محتوای نیتروژن بذر نسبت دادند به این صورت که پیش تیمار بذر توسط پلاسما سرد می‌تواند محتوای نیتروژن را در بذرهای افزایش دهد و بذرهای غنی شده از نیتروژن نیز اسیدهای آمینه و پروتئین کافی را از طریق متابولیسم کمپلکس نیتروژن تولید و مواد مغذی مورد نیاز را تامین می‌کنند و در نتیجه رشد گیاهچه و غلظت کلروفیل در برگ افزایش می‌یابد (Billah et al., 2020). در این تحقیق اثرات تنش شوری، پیش تیمار بذر با پلاسما سرد بر محتوای سدیم و پتاسیم برگ و ریشه معنی دار بود (جدول

با توجه به نتایج حاصل از یک آزمایش گزارش شد که تیمارهای پلاسما اثرات مثبتی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سویا داشتند و طول ساقچه و ریشه‌چه و وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه، نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشت. همچنین مشاهده شد که پلاسما تأثیر بیشتری بر وزن خشک ریشه‌ها نسبت به اندام هوایی دارد (Ling et al., 2014). در این مطالعه نیز طول و وزن خشک ریشه‌ها نسبت به طول و وزن خشک اندام‌های هوایی زمانی که تحت تیمار پلاسما قرار گرفتند در مقایسه با شاهد افزایش بیشتری نشان دادند.

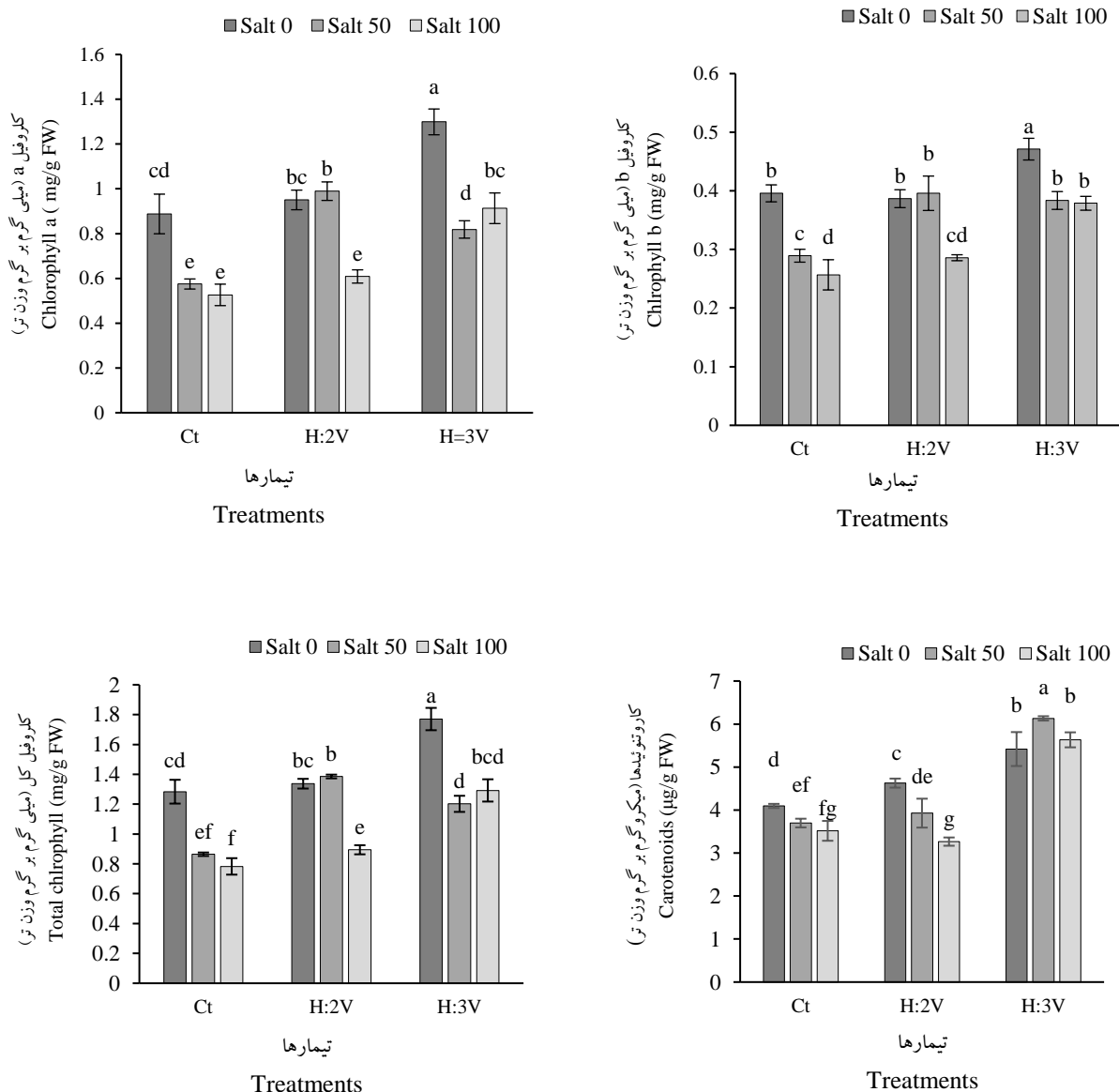
اثر بر خصوصیات فیزیولوژیکی

اثر بر محتوای کلروفیل A و B و کل و کاروتنوئید

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل) و کاروتنوئید به طور معنی داری تحت تاثیر تنش شوری و پیش تیمار پلاسما سرد بود (جدول ۱). بررسی نتایج نشان داد که با افزایش تنش شوری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش یافت (شکل ۱۱). بیشتر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی از شوری صفر میلی مولار و پیش تیمار پلاسما سرد هلیوم با اختلاف پتانسیل ۳ ولت به دست آمد و کمترین مقدار از تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار حاصل گردید. غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی در تمامی بذرهای تیمار شده با پلاسما DBD با

برگ در حضور شوری شد. همچنین باعث کاهش قابل توجهی در محتوای سدیم برگ و در نتیجه بهبود نسبت K^+ / Na^+ در برگ‌ها شد.

۱). میزان سدیم (Na^+) ریشه و برگ با افزایش شوری افزایش یافت و محتوای پتاسیم (K^+) برگ و ریشه با افزایش شوری کاهش یافت (شکل ۱۲). استفاده از پلاسما باعث افزایش پتاسیم



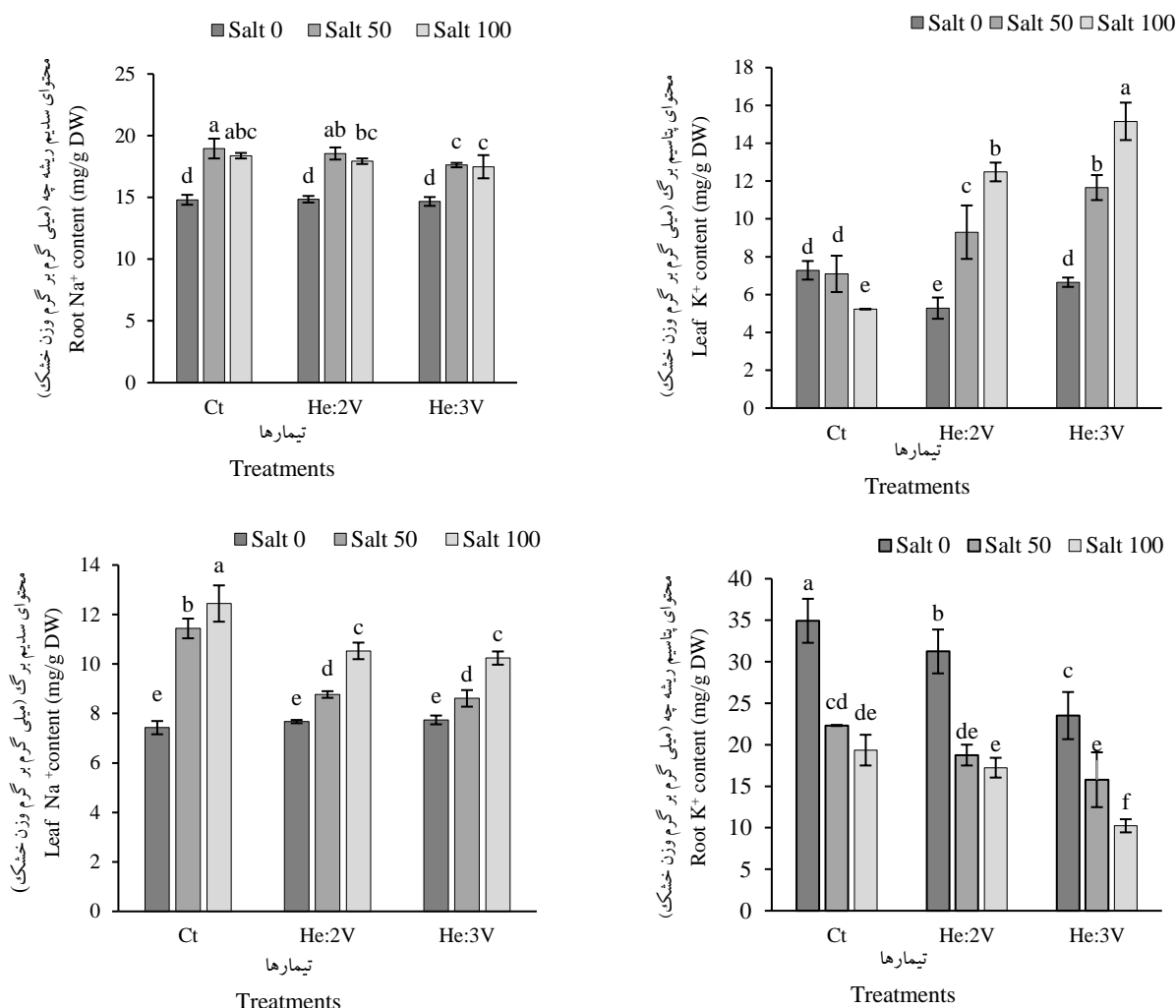
شکل ۱۱- اثر پرایمینگ بذر با پلاسمای سرد هلیوم با ولتاژهای ۲ و ۳ ولت بر غلظت رنگیزه های فتوسنتزی گیاه گوار تحت تنش شوری.

Figure 11- Effect of seed priming with helium cold plasma by voltage of 2 and 3 volt on concentration of photosynthetic pigments guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) plant under salt stress.

پلاسما می‌تواند افزایش یابد که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد.

اثر بر محتوای سدیم و پتاسیم برگ و ریشه

Jiang et al. (2018) با بررسی تاثیر پلاسما بر جذب مواد مغذی در گوجه فرنگی دریافتند که جذب پتاسیم پس از تیمار



شکل ۱۲- اثر پرایمینگ بذر با پلاسما سرد هلیوم با ولتاژ ۲ و ۳ ولت بر محتوای Na⁺ و K⁺ برگ و ریشه گیاه گوار تحت تنش شوری.

Figure 12- Effect of seed priming with helium cold plasma by voltage of 2 and 3 volt on Shoot and root Na⁺ and K⁺ content of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) plant under salt stress.

تنش شوری مورد توجه قرار گیرد.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض منافی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

Acharya, B. R., Sandhu, D., Dueñas, C., Ferreira, J. F., & Grover, K. K. (2022). Deciphering molecular mechanisms involved in salinity tolerance in Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) Using transcriptome analyses. *Plants*, 11(3), 291. <https://doi.org/10.3390/plants11030291>

نتیجه‌گیری کلی

نتایج آزمایش نشان داد افزایش تنش شوری تاثیر منفی بر کلیه خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهچه گوار داشت. پرایمینگ بذر با پلاسما سرد باعث بهبود جوانه‌زنی و رشد و عملکرد گیاهچه گوار شد. در این آزمایش استفاده از پلاسما سرد DBD هلیوم با توان الکتریکی ۱/۴۴ وات در مدت زمان ۶۰ ثانیه بهترین نتیجه را در افزایش جوانه‌زنی و بهبود رشد گیاهچه‌های گوار داشت. بنابراین میتوان نتیجه گرفت که پرایمینگ بذر با پلاسما سرد منجر به کاهش اثرات منفی تنش شوری بر رشد گیاهچه‌های گوار می‌شود و می‌تواند به عنوان یک راهکار مفید جهت بهبود جوانه‌زنی و استقرار بهتر گیاهچه گوار در شرایط

- Adhikari, B., Adhikari, M., & Park, G. (2020).** The effects of plasma on plant growth, development, and sustainability. *Applied Sciences*, 10(17), 6045. <https://doi.org/10.3390/app10176045>
- Attri, P., Ishikawa, K., Okumura, T., Koga, K., & Shiratani, M. (2020).** Plasma agriculture from laboratory to farm: A review. *Processes*, 8(8), 1002. <https://doi.org/10.3390/pr8081002>
- Burin, M. J., Simmons, G. G., Ceja, H. G., Zweben, S. J., Nagy, A., & Brunkhorst, C. (2015).** On filament structure and propagation within a commercial plasma globe. *Physics of Plasmas*, 22(5). <https://doi.org/10.1063/1.4919939>
- Brandenburg, R. (2017).** Dielectric barrier discharges: progress on plasma sources and on the understanding of regimes and single filaments. *Plasma Sources Science and Technology*, 26(5), 053001. <https://doi.org/10.1088/1361-6595/aa6426>
- Bafoil, M., Le Ru, A., Merbahi, N., Eichwald, O., Dunand, C., & Yousfi, M. (2019).** New insights of low-temperature plasma effects on germination of three genotypes of *Arabidopsis thaliana* seeds under osmotic and saline stresses. *Scientific reports*, 9(1), 8649. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44927-4>
- Billah, M., Sajib, S. A., Roy, N. C., Rashid, M. M., Reza, M. A., Hasan, M. M., & Talukder, M. R. (2020).** Effects of DBD air plasma treatment on the enhancement of black gram (*Vigna mungo* L.) seed germination and growth. *Archives of biochemistry and biophysics*, 681, 108253. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2020.108253>
- Choudhury, F. K., Rivero, R. M., Blumwald, E., & Mittler, R. (2017).** Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *The Plant Journal*, 90(5), 856-867. <https://doi.org/10.1111/tpj.13299>
- Cui, D., Yin, Y., Wang, J., Wang, Z., Ding, H., Ma, R., & Jiao, Z. (2019).** Research on the physio-biochemical mechanism of non-thermal plasma-regulated seed germination and early seedling development in *Arabidopsis*. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1322. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01322>
- Da Silva, A. R. M., Farias, M. L., Da Silva, D. L. S., Vitoriano, J. O., De Sousa, R. C., & Alves-Junior, C. (2017).** Using atmospheric plasma to increase wettability, imbibition and germination of physically dormant seeds of *Mimosa Caesalpiniaefolia*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 157, 280-285. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2017.05.063>
- Dhayal, M., Lee, S. Y., & Park, S. U. (2006).** Using low-pressure plasma for *Carthamus tinctorium* L. seed surface modification. *Vacuum*, 80(5), 499-506. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2005.06.008>
- Dobrin, D., Magureanu, M., Mandache, N. B., & Ionita, M. D. (2015).** The effect of non-thermal plasma treatment on wheat germination and early growth. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29, 255-260. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.02.006>
- El Shaer, M., Abdel-azim, M., El-welily, H., Hussein, Y., Abdelghani, A., Zaki, A., & Mobasher, M. (2023).** Effects of DBD direct air plasma and gliding arc indirect plasma activated mist on germination, and physiological parameters of rice seed. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 43(5), 1169-1193. <https://doi.org/10.1007/s11090-023-10350-x>
- Ebrahimibasabi, E., Ebrahimi, A., Momeni, M., & Amerian, M. (2020).** Elevated expression of diosgenin-related genes and stimulation of the defense system in *Trigonella foenum-graecum* (fenugreek) by cold plasma treatment. *Scientia Horticulturae*, 271, 109494. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109494>
- Filatova, I., Lyushkevich, V., Goncharik, S., Zhukovsky, A., Krupenko, N., & Kalatskaja, J. (2020).** The effect of low-pressure plasma treatment of seeds on the plant resistance to pathogens and crop yields. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(24), 244001. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab7960>
- Gao, X., Zhang, A., Héroux, P., Sand, W., Sun, Z., Zhan, J., ... & Liu, Y. (2019).** Effect of dielectric barrier discharge cold plasma on pea seed growth. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(39), 10813-10822. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03099>
- Gómez-Ramírez, A., López-Santos, C., Cantos, M., García, J. L., Molina, R., Cotrino, J., ... & González-Elipe, A. R. (2017).** Surface chemistry and germination improvement of Quinoa seeds subjected to plasma activation. *Scientific reports*, 7(1), 5924. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06164-5>
- Hartemink, R., Schoustra, S. E., & Rombouts, F. M. (1999).** Degradation of guar gum by intestinal bacteria. *Bioscience and microflora*, 18(1), 17-25. <https://doi.org/10.12938/bifidus1996.18.17>
- Henselová, M., Slováková, E., Martinka, M., & Zahoranová, A. (2012).** Growth, anatomy and enzyme activity changes in maize roots induced by treatment of seeds with low-temperature plasma. *Biologia*, 67, 490-497. <https://doi.org/10.2478/s11756-012-0046-5>
- International Seed Testing Association. (1999).** *International rules for seed testing*. Seed Science and Technology, 27(Supplement).
- Ji, S. H., Choi, K. H., Pengkit, A., Im, J. S., Kim, J. S., Kim, Y. H., Park, Y., Hong, E. J., Jung, S., Choi, E. H., & Park, G. (2016).** 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, 117-128. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2016.02.028>

- Jiang, J., Jiangang, L. I., & Yuanhua, D. O. N. G. (2018). Effect of cold plasma treatment on seedling growth and nutrient absorption of tomato. *Plasma Science and Technology*, 20(4), 044007. <https://doi.org/10.1088/2058-6272/aaa0bf>
- Khamsen, N., Onwimol, D., Teerakawanich, N., Dechanupaprittha, S., Kanokbannakorn, W., Hongesombut, K., & Srisophon, S. (2016). Rice (*Oryza sativa* L.) seed sterilization and germination enhancement via atmospheric hybrid nonthermal discharge plasma. *ACS applied materials & interfaces*, 8(30), 19268-19275. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b04555>
- Li, Y., Wang, T., Meng, Y., Qu, G., Sun, Q., Liang, D., & Hu, S. (2017). Air atmospheric dielectric barrier discharge plasma induced germination and growth enhancement of wheat seed. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 37, 1621-1634. <https://doi.org/10.1007/s11090-017-9835-5>
- Lu, X., Naidis, G. V., Laroussi, M., Reuter, S., Graves, D. B., & Ostrikov, K. (2016). Reactive species in non-equilibrium atmospheric-pressure plasmas: Generation, transport, and biological effects. *Physics Reports*, 630, 1-84. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2016.03.003>
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology* (Vol. 148, pp. 350-382). Academic Press.
- Ling, L., Jiafeng, J., Jiangang, L., Minchong, S., Xin, H., Hanliang, S., & Yuanhua, D. (2014). Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean. *Scientific Reports*, 4(1), 5859. <https://doi.org/10.1038/srep05859>
- Meng, Y., Qu, G., Wang, T., Sun, Q., Liang, D., & Hu, S. (2017). Enhancement of germination and seedling growth of wheat seed using dielectric barrier discharge plasma with various gas sources. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 37, 1105-1119. <https://doi.org/10.1007/s11090-017-9799-5>
- Mihai, A. L., Dobrin, D., Magureanu, M., & Popa, M. E. (2014). Positive effect of non-thermal plasma treatment on radish seeds. *Romanian Reports in Physics*, 66(4), 1110-1117.
- Muller, K., Linkies, A., Vreeburg, R. A., Fry, S. C., Krieger-Liszky, A., & Leubner-Metzger, G. (2009). In vivo cell wall loosening by hydroxyl radicals during cress seed germination and elongation growth. *Plant Physiology*, 150(4), 1855-1865. <https://doi.org/10.1104/pp.109.139204>
- Mildažienė, V., Aleknavičiūtė, V., Žūkienė, R., Paužaitė, G., Naučienė, Z., Filatova, I., ... & Baniulis, D. (2019). Treatment of common sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds with radio-frequency electromagnetic field and cold plasma induces changes in seed phytohormone balance, seedling development, and leaf protein expression. *Scientific Reports*, 9(1), 6437. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42893-5>
- Nishime, T. M., Wannicke, N., Horn, S., Weltmann, K. D., & Brust, H. (2020). A coaxial dielectric barrier discharge reactor for treatment of winter wheat seeds. *Applied Sciences*, 10(20), 7133. <https://doi.org/10.3390/app10207133>
- Perea-Brenes, A., García, J. L., Cantos, M., Cotrino, J., González-Elipe, A. R., Gómez-Ramírez, A., & López-Santos, C. (2023). Germination and first stages of growth in drought, salinity, and cold stress conditions of plasma-treated barley seeds. *ACS Agricultural Science & Technology*, 3(9), 760-770. <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.3c00121>
- Randeniya, L. K., & de Groot, G. J. (2015). Non-thermal plasma treatment of agricultural seeds for stimulation of germination, removal of surface contamination, and other benefits: A review. *Plasma Processes and Polymers*, 12(7), 608-623. <https://doi.org/10.1002/ppap.201500042>
- Roy, N. C., Hasan, M. M., Talukder, M. R., Hossain, M. D., & Chowdhury, A. N. (2018). Prospective applications of low-frequency glow discharge plasmas on enhanced germination, growth, and yield of wheat. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 38, 13-28. <https://doi.org/10.1007/s11090-017-9855-1>
- Sharma, G., Sharma, S., Kumar, A., Ala'a, H., Naushad, M., Ghfar, A. A., ... & Stadler, F. J. (2018). Guar gum and its composites as potential materials for diverse applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 199, 534-545. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.053>
- Suthar, J. D., Rajpar, I., Ganjegunte, G. K., Shah, Z. U. H., Niu, G., & Grover, K. (2019). Germination, growth, and ion uptake of 15 guar accessions under elevated salinity. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 2(1), 1-9. <https://doi.org/10.2134/age2019.03.0020>
- Stolárik, T., Henselová, M., Martinka, M., Novák, O., Zahoranová, A., & Černák, M. (2015). Effect of low-temperature plasma on the structure of seeds, growth, and metabolism of endogenous phytohormones in pea (*Pisum sativum* L.). *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 35, 659-676. <https://doi.org/10.1007/s11090-015-9627-8>
- Sadhu, S., Thirumdas, R., Deshmukh, R. R., & Annappure, U. S. (2017). Influence of cold plasma on the enzymatic activity in germinating mung beans (*Vigna radiata*). *LWT*, 78, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.026>
- Shiratani, M., Sarinont, T., Amano, T., Hayashi, N., & Koga, K. (2016). Plant growth response to atmospheric air plasma treatments of seeds of five plant species. *MRS Advances*, 1(18), 1265-1269. <https://doi.org/10.1557/adv.2016.37>
- Sarinont, T., Amano, T., Attri, P., Koga, K., Hayashi, N., & Shiratani, M. (2016). Effects of plasma irradiation using various feeding gases on the growth of *Raphanus sativus* L. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 605, 129-140. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2016.03.024>

- Švubová, R., Kyzek, S., Medvecká, V., Slovákova, L., Gálová, E., & Zahoranová, A. (2020). Novel insight at the effect of cold atmospheric pressure plasma on the activity of enzymes essential for germination of pea (*Pisum sativum* L. cv. Prophet) seeds. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 40, 1221-1240. <https://doi.org/10.1007/s11090-020-10089-9>
- Šerá, B., Gajdová, I., Černák, M., Gavril, B., Hnatiuc, E., Kováčik, D., ... & Špatenka, P. (2012, May). How various plasma sources may affect seed germination and growth. In *2012 13th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)* (pp. 1365-1370). IEEE. <https://doi.org/10.1109/OPTIM.2012.6231880>
- Selcuk, M., Oksuz, L., & Basaran, P. (2008). Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. *Bioresource Technology*, 99(11), 5104-5109. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.076>
- Sera, B., Špatenka, P., Šerý, M., Vrchotova, N., & Hruškova, I. (2010). Influence of plasma treatment on wheat and oat germination and early growth. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 38(10), 2963-2968. <https://doi.org/10.1109/TPS.2010.2060728>
- Tounekti, T., Mujahid, Z. U. I., & Khemira, H. (2018, June). Non-thermal dielectric barrier discharge (DBD) plasma affects germination of coffee and grape seeds. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1976, No. 1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.5042396>
- Ungar, I. A. (1996). Effect of salinity on seed germination, growth, and ion accumulation of *Atriplex patula* (Chenopodiaceae). *American Journal of Botany*, 83(5), 604-607. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1996.tb12745.x>
- Volkov, A. G., Hairston, J. S., Patel, D., Gott, R. P., & Xu, K. G. (2019). Cold plasma poration and corrugation of pumpkin seed coats. *Bioelectrochemistry*, 128, 175-185. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2019.04.012>
- Zhang, J. J., Jo, J. O., Huynh, D. L., Mongre, R. K., Ghosh, M., Singh, A. K., ... & Jeong, D. K. (2017). Growth-inducing effects of argon plasma on soybean sprouts via the regulation of demethylation levels of energy metabolism-related genes. *Scientific Reports*, 7(1), 41917. <https://doi.org/10.1038/srep41917>

