"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد هشتم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۸
(ص ۲۰۰-۱۸۵)
مقاله پژوهشی

Iranian Journal of
Seed Science and Technology
Vol.: 8, No.: 1, Spring and Summer 2019
(pp: 185-200)
DOI: 10.22034/ijsst.2019.115796.1141
Research Article

پاسخ جوانه‌زنی و هدایت الکتریکی بذرهای حاصل از گیاه مادری سرخارگل (*Echinacea purpurea*) تحت تأثیر ترکیب‌های زیستی و تنش خشکی

محمود عطارزاده[۱]، حمیدرضا بلوچی[۲*]، محسن موحدی دهنوی[۲]، امین صالحی[۲]، مجید رجایی[۳]

۱. دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی- دانشگاه یاسوج
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی- دانشگاه یاسوج
۳. استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
(تاریخ دریافت:۱۳۹۶/۰۷/۱۷؛ تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۱۱/۱۰)

چکیده

بروز تنش خشکی روی گیاه مادری می‌تواند سبب کاهش جوانه‌زنی و رشد بذور گیاهان تحت این شرایط شود. از سوی دیگر استفاده از ترکیبات زیستی در تنش‌های محیطی سبب تولید بذور با قابلیت جوانه‌زنی بهتر می‌شود. این پژوهش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ انجام گردید. عامل اصلی شامل رژیم‌های مختلف آبیاری در سه سطح آبیاری پس از ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک و عامل فرعی شامل تأمین نیاز فسفر در شش سطح ۱۰۰ درصد نیاز فسفر به صورت شیمیایی از منبع سوپرفسفات تریپل، ۵۰ درصد فسفر + قارچ مایکوریزا آربوسکولار، قارچ مایکوریزا آربوسکولار، ۵۰ درصد فسفر + باکتری *سودوموناس فلورسنس*، باکتری *سودوموناس فلورسنس* و شاهد بدون کود فسفره بود. نتایج نشان داد که در رژیم آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی، حداکثر جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه در ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار بود. همچنین در سطح آبیاری پس از ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی، تیمار ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار توانست سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی و بهبود یکنواختی جوانه‌زنی شود. هدایت الکتریکی بذرهای سرخارگل با افزایش تنش خشکی روند افزایشی را نشان داد. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که باکتری *سودوموناس فلورسنس* در این آزمایش در سطح پایین‌تر از قارچ مایکوریزا آربوسکولار توانست درصد و سرعت جوانه‌زنی و اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را بهبود دهد.

کلمات کلیدی: بنیه بذر، سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، مایکوریزا آربوسکولار

Response of germination and electrical conductivity of seeds produced by *Echinacea purpurea's* mother plants under the influence of biological fertilizers and drought stress

M. Attarzadeh[1], H.R. Balouchi[2*], M. Movahhedi Dehnavi[2], A. Salehi[2], M. Rajaie[3]

1. Ph.D. Student of Agronomy and Plant Breeding Department, Yasouj University
2. Associated Professor of Agronomy and Plant Breeding Department, Yasouj University
3. Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran
(Received: Oct. 09, 2017 – Accepted: Jan. 30, 2018)

Abstract

Reduction in germination and growth can be seen in seeds obtained from mother plants which have experienced water stress. From the other point of view utilization of biological fertilizers under environmental stress, the condition can produce seeds with higher germination capacity. This research was conducted as split plot based on a randomized complete block design with three replications in 2016. The main factor included of irrigation regimes at three levels included in soil irrigation after 25, 50 and 75% of soil moisture depletion and a sub-factor of phosphorus supply in six levels included of 100% phosphorus requirement from the source of triple superphosphate, 50% phosphorus + arbuscular mycorrhizal fungus, Mycorrhiza arbuscular fungus, 50% phosphorus + *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas fluorescens* and a control test without phosphorus fertilizer. Results showed that in 75% of soil moisture depletion, maximum amounts of germination, seed vigor, root length, stem length and seedling dry weight were obtained from 50% of phosphorus + arbuscular mycorrhiza. At irrigation level of 50 and 75% moisture depletion, the application of 50% phosphorus + arbuscular mycorrhiza made an increase in germination rate and uniformity. The electrical conductivity of *Echinacea purpurea* seeds showed increasing trend with intensification in drought stress. The results of this study showed that in present study *Pseudomonas fluorescens* had lower improvement effects on percent and rate of germination and the adjustment of drought adverse effects in compared with arbuscular mycorrhiza.

Keywords: *seed vigor, germination rate, germination percentage*, arbuscular mycorrhiza.

* Email: balouchi@yu.ac.ir

مقدمه

سرخارگل با نام علمی *Echinacea purpurea* (L.) Monch گیاهی علفی، چندساله از تیره *Asteraceae* و بومی شمال آمریکا و یکی از مهمترین گیاهان دارویی در این منطقه می‌باشد (Hobbs, 1994). این گیاه به عنوان یک گیاه چندساله در اروپا بطور وسیع مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. تمامی اندام این گیاه حاوی مواد ارزشمندی می‌باشد که باعث شده به عنوان یک گیاه دارویی در اغلب نقاط دنیا گسترش یافته و بصورت وسیع در اروپا و آمریکا کشت و کار شود. از مواد موثره این گیاه می‌توان اسید شیکوریک، ترکیبات ایزوبوتیل، ترکیبات پلی‌ساکارید و اسانس آن را نام برد (Omidbeigi, 2002). مواد موثره سرخارگل به علت خواص ضدقارچی، ضدویروسی و ضدباکتریایی که دارد در افزایش سیستم دفاعی بدن نقش موثری ایفا می‌کنند. به همین دلیل سرخارگل در درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله سرماخوردگی و ایدز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Birt *et al*., 2008). بذر سرخارگل اولین بار در سال ۱۳۷۲ از مجارستان به ایران منتقل، معرفی و کشت گردید، بذر این گیاه دارای قوه رویشی کمی است و برای رویش به آب فراوانی نیاز دارد. این گیاه با شرایط اکولوژیکی ایران سازگار بوده و به‌طور کلی جزء گیاهان کم توقع محسوب می‌شود. امروزه اگرچه واریته‌های اصلاح شده دارای قوه نامیه بالایی می‌باشند ولی به دلیل وجود تنشهای محیطی زنده و غیرزنده، تولید گیاهچه در آنها با مشکل روبرو می شود و درصد ظهور گیاهچه کاهش خواهد یافت. از سوی دیگر خشکی و کم آبی در ایران همواره از مهمترین مسائل و مشکلات کشاورزی است و با عنایت به تأثیر منفی خشکی در محدود نمودن تولید محصولات، معرفی روشهای مدیریتی نظیر کاربرد کودهای زیستی از طریق چنین بررسی هایی ضروری است (Omidbeigi, 2002).

جوانه‌زنی بذر یکی از مهم‌ترین مراحل فنولوژیک گیاهان است که تعیین کننده ی میزان تولید هر محصول می‌باشد. جوانه‌زنی بذر، سبز شدن و رشد گیاهچه در گیاهان زراعی به عواملی از جمله درصد و سرعت جوانه‌زنی، بنیه‌ی بذر بستگی دارد (Elouaer and Hannachi., 2012). افزایش هر یک از این مولفه‌ها می‌تواند در افزایش قدرت اولیه بذر موثر باشد. هر یک از این مولفه‌ها خود دارای چند مولفه دیگر هستند. زمان تا شروع جوانه زنی (D10)، حداکثر مقدار جوانه‌زنی (Gmax)، یکنواختی جوانه‌زنی (GU) و سرعت جوانه‌زنی (R50) به عنوان اجزای جوانه‌زنی شناخته می‌شوند (Soltani *et al*., 2001). تنش خشکی با تاثیر بر حرکت و انتقال ذخایر بذر، با تأثیر مستقیم بر ساختمان آلی و سنتز پروتئین جنین، جوانه‌زنی بذر را کاهش می‌دهد (Dodd and Donovan, 1999). تقریبا تمام واکنش‌های متابولیکی سلول تحت تأثیر کمبود آب قرار گرفته، بنابراین تولید و فعالیت آنزیم ها و در نتیجه سنتز پروتئین کاهش و در نهایت بر رشد سلول تأثیر می‌گذارد (Farooq *et al*., 2009). محققان گزارش کردند که تنش‌های محیطی می‌تواند در طول دوره رشد گیاه مادری بر کیفیت بذر تولیدی موثر باشد. وقوع تنش پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، اما قبل از برداشت می‌تواند باعث کاهش جوانه‌زنی و بنیه بذر شود (Hamidi *et al*., 2016). قاسمی گلعذانی و همکاران (Ghassemi-Golezani *et al*., 2013) کاهش جوانه‌زنی در اثر اعمال تنش خشکی روی گیاه مادری را گزارش نمود.

در بسیاری از بررسی‌های مرتبط با کشاورزی پایدار، وجود رابطه هم‌افزایی بین موجودات ریز خاک از جمله قارچ‌های مایکوریزا با گیاهان مختلف از جمله خانواده کاسنی[1] گزارش شده است. به‌طوری‌که تلقیح هم‌زمان آن‌ها با این خانواده از گیاهان افزایش جذب فسفر و رشد گیاه را در پی داشته است (Bauma *et al*., 2015).

[1] *Asteraceae*

موجودات ریز خاک به عنوان یک جزء بسیار مهم در سامانه خاک می توانند از طریق سازوکارهای مختلف باعث تحریک و بهبود رشد و تغذیه گیاهان شوند. قارچ مایکوریزا آربوسکولار می‌تواند با ریشه در ۸۰ درصد از گونه‌های گیاهی ارتباط همزیستی داشته باشد (Smith and Read, 2008). شواهد قابل توجهی نشان می‌دهد که قارچ آربوسکولار سبب افزایش تحمل گیاهان میزبان در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Lazcano *et al*., 2014). یافته‌های بسیاری از پژوهشگران مؤید این حقیقت است که حضور ترکیبات زیستی در نظام‌های مختلف کشاورزی پایدار از طریق اثرات هم‌افزایی و تشدیدکننده‌ای که میان آن ها بوجود می‌آید، می‌تواند با ایجاد یک بستر مناسب و پیامد آن دسترسی مطلوب گیاه به عناصر غذایی، موجب رشد و افزایش بیوماس گیاه گردد (Sharma and Sharma, 2002). حمیدی و همکاران (Hamidi *et al*., 2016) با بررسی باکتری سودوموناس و قارچ مایکوریزا بر جوانه‌زنی و خصوصیات گیاهچه‌ای گیاه مادری سویا در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که ریزجانداران مفید خاکزی به‌ویژه باکتری‌های تحریک کننده رشد سبب بهبود و احیای کیفیت جوانه‌زنی و بنیه بذر می‌گردد. غلامی‌گنجه و همکاران (Gholami ganjeh *et al*., 2015) گزارش کردند که استفاده از قارچ مایکوریزا از طریق جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر توسط گیاه مادری منجر به بهبود اکثر شاخص‌های جوانه‌زنی در گیاه زیره سبز می‌گردد. از آنجایی که تنش خشکی عامل محدود کننده‌ای برای بسیاری از گیاهان زراعی محسوب می‌شود. از سوی دیگر با توجه به گزارش‌هایی مبنی بر اثرات مثبت ترکیبات زیستی، در پژوهش حاضر تصمیم گرفته شد تا خصوصیات جوانه‌زنی و کیفیت بذرهای حاصل از گیاه مادری سرخارگل در ارتباط با تأثیر تلفیق کود فسفره با قارچ مایکوریزا آربوسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس* در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ در شهرستان فسا با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۴ دقیقه و ارتفاع ۱۳۷۰ متر از سطح دریا انجام گردید. عامل اصلی شامل رژیم‌های مختلف آبیاری در سه سطح آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی و آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک و عامل فرعی شامل تأمین نیاز فسفر گیاه در شش سطح ۱۰۰ درصد نیاز فسفر به صورت شیمیایی از منبع سوپرفسفات تریپل، ۵۰ درصد نیاز فسفر + قارچ مایکوریزا آربوسکولار، قارچ مایکوریزا آربوسکولار، ۵۰ درصد نیاز فسفر + باکتری *سودوموناس فلورسنس*، باکتری *سودوموناس فلورسنس* و شاهد بدون کود فسفره بود. منشأ بذر، جمعیت اولیه تهیه شده از کشور آلمان (Jelitto Staudensamen GmbH, Schwarmstedt, Germany) بود. بذرهای حاصل از این پژوهش مورد آزمون استاندارد جوانه‌زنی قرار گرفت. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به شرح جدول ۱ تعیین شد. بافت خاک به روش هیدرومتر و کربن آلی به روش واکی بلاک اندازه‌گیری شد. همچنین میزان نیتروژن خاک با استفاده از دستگاه کجلدال، فسفر به روش آبی آسکوربیک و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر گزارش گردید.

به منظور تأمین پتاس مورد نیاز گیاه به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم قبل از کاشت براساس آزمون خاک، به طور یکنواخت به‌صورت نواری در زیر خطوط کاشت قرار گرفت. نیتروژن مورد نیاز گیاه به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره به‌صورت تقسیط در سه نوبت (در مرحله شش برگی، ساقه‌دهی و شروع گلدهی) استفاده شد (Omidbeigi, 2001).

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک محل انجام آزمایش
Table 1- Analysis of soil physical and chemical testing

عمق Depth (cm)	بافت texture	کربن آلی O.C (٪)	pH	EC (dS/m)	N (٪)	P (ppm)	K (ppm)
0-30	سیلتی لوم Loam Silty	0.91	7.8	2.0	0.09	8	196

تمامی مقادیر مورد نظر از کود شیمیایی فسفر به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل (Omidbeigi, 2001؛ Berti *et al.*, 2002)، مطابق تیمارهای ذکر شده هنگام کاشت در کرت‌های مربوطه مصرف گردید. هر کرت آزمایشی در این پژوهش شامل ۵ ردیف کاشت بود. کاشت نشاها روی ردیف‌های کاشت، به طول ۳ متر، فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود (Omidbeigi, 2001). فواصل بین کرت‌های اصلی و فرعی و فواصل بین تکرار به ترتیب ۲، ۱ و ۲ متر بود. نشاهای ۹۰ روزه از شرکت دانش بنیان سبز اکسیر فارس خریداری شد. پس از آماده‌سازی زمین برای کاشت، کاربرد ترکیبات زیستی و شیمیایی بر پایه تیمارهای مورد بررسی انجام شد. باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه P-169 تهیه شده از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور روی محیط کشت NA[1] به شکل زیگزاکی کشت شد و پس از رشد باکتری به مدت ۴۸-۲۴ ساعت، ریشه نشاها در سوسپانسیون سویه باکتری *سودوموناس فلورسنس* به مدت ۲۰ دقیقه فرو برده شد و سپس در مزرعه کشت گردید. برای دستیابی به تراکم مایه تلقیح 10^8 واحد تشکیل‌دهنده کلونی بر میلی‌لیتر میزان جذب سوسپانسیون در طول موج ۶۰۰ نانومتر روی ۰/۵ تنظیم گردید (Burd *et al.*, 2000). گونه‌های مایکوریزا آربوسکولار مورد استفاده در این پژوهش از طریق کاشت با گیاه سورگوم و با اسپورهای قارچ مایکوریزا آربوسکولار (*Glomus intraradices*) بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه گردید. زادمایه مایکوریزایی به صورت مخلوطی از اسپور، هیف، ریشه‌های تلقیح شده گیاه سورگوم و ماسه بادی (به میزان ۱۲۰ اسپور در هر گرم خاک) مورد استفاده قرار گرفت (Schenck and Perez, 1990). هنگام کاشت جهت اعمال تیمار مربوط به مایکوریزا، مقدار ۵ گرم از خاک حاوی مایکوریزا به ازای هر بوته استفاده گردید. همچنین علاوه بر تلقیح ابتدایی نشا سرخارگل با باکتری سودوموناس، ۵ میلی‌لیتر از مایه تلقیح باکتری به خاک اطراف گیاه در عمق ۵ سانتی‌متری خاک تزریق شد (Ghorchiani *et al.*, 2013). در اواخر اردیبهشت ماه ۱۳۹۵ کشت نشا انجام شد و در طول دوران رشد و نمو سرخارگل، عملیات وجین علف‌های هرز در کرت‌ها با دست انجام گرفت. بعد از کاشت نشا، تمام کرت‌ها آبیاری شدند. آبیاری دوم برای تمامی تیمارها براساس تیمار آبیاری شاهد بصورت ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی انجام شد. پس از آبیاری سوم، تیمارهای آبیاری اعمال شد. تیمارهای آبیاری براساس درصد تخلیه رطوبت آب قابل استفاده خاک در عمق توسعه ریشه اعمال شد. رطوبت تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده خاک به عنوان تیمار شاهد و سایر تیمارها شامل آبیاری تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده و تخلیه ۷۵ درصد آب قابل استفاده خاک بود. برای دستیابی به این تیمارها زمان‌های آبیاری مزرعه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی از طریق نمونه‌گیری‌های مکرر و روزانه خاک از عمق توسعه ریشه در وسط هر کرت در هر تکرار به منظور رسیدن به رطوبت لازم برای سطح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده انجام شد. برای آبیاری کرت‌های

[1] Nutrient Agar

آزمایشی از سامانه آبیاری نواری (تیپ) که شامل یک پمپ الکتریکی و لوله پی‌وی‌سی است، استفاده گردید.

در هنگام رسیدگی بذور سرخارگل، بذرها برداشت شد. برای شکستن خواب فیزیولوژیکی به مدت ۳۰ روز در دمای ۲ تا ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس در مدت ۱۲ ساعت با اسیدجیبرلیک ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر در دمای ۲۵ درجه سلسیوس پیش تیمار شد (Ansari *et al*., 2016؛ Makkizadeh Tafti *et al*., 2006). لازم به ذکر است که بذرهای سرخارگل قبل از اعمال تیمار شکستن خواب، کمتر از ۱۵ درصد جوانه‌زنی داشتند. این پژوهش با ۳ تکرار انجام شد ودر هر تکرار تعداد ۲۵ عدد بذر سالم به طور تصادفی از هر تیمار انتخاب گردید. بذرها پس از ضدعفونی با محلول هیپوکلریت سدیم پنج درصد به مدت ۳۰ ثانیه، به درون پتری‌های ۹۰ میلی‌متری استریل شده روی کاغذ صافی منتقل گردیدند. سپس آب مقطر به وسیله ی پیپت ۵ سی سی به درون هر پتری ریخته شد. در ادامه پتری‌ها به داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس انتقال داده شدند و به مدت ۱۴ روز تعداد بذور جوانه‌زده شمارش شدند (Makkizadeh Tafti *et al*., 2006؛ Amiri *et al*., 2011). در روز آخر جوانه‌زنی، پس از شمارش تعداد کل بذرهای جوانه‌زده، طول ریشه چه و ساقه‌چه‌ی آن با خط‌کش بر حسب میلی متر اندازه‌گیری شد. وزن خشک گیاهچه (وزن خشک ریشه‌چه+وزن خشک ساقه‌چه) پس از قرار گرفتن در آون ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت تعیین گردید. برای محاسبه حداکثر جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی سبز شدن از نرم‌افزار Germine[1] استفاده شد (Soltani *et al*., 2001). در این برنامه زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی (D50) با استفاده از روش درون‌یابی خطی در منحنی جوانه‌زنی تجمعی محاسبه شد. سرعت جوانه‌زنی (R50) به صورت عکس زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر درصد جوانه‌زنی از طریق معادله ۱ مورد بررسی قرار گرفت.

معادله ۱ $R50=1/D50$ (سرعت جوانه زنی)

یکنواختی جوانه‌زنی (GU) مدت زمانی که طول جوانه‌زنی از ۱۰ درصد حداکثر خود (D10) به ۹۰ درصد حداکثر خود (D90) برسد، که هرچه این مدت زمان کمتر باشد نشان‌دهنده جوانه‌زنی یکنواخت‌تر (همزمان) بذور می‌باشد که از طریق معادله ۲ محاسبه شد (Soltani *et al*., 2001). همچنین شاخص بنیه بذر با استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید (Abdul baki and Anderson, 1973).

معادله ۲ $GU=D90-D10$ (یکنواختی جوانه‌زنی)

معادله ۳

$$\text{بنیه‌ی بذر} = \text{میانگین طول گیاهچه‌ها} \times \frac{\text{درصد جوانه‌زنی}}{۱۰۰}$$

برای انجام آزمون هدایت الکتریکی از هر تیمار ۳ تکرار ۱۰۰ بذری به صورت تصادفی جدا گردید. در ابتدا وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند. سپس نمونه‌ها به صورت جداگانه در داخل ظروف در بسته با فویل آلومینیومی حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر، به مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور شدند و یک ظرف محتوی آب دو بار تقطیر شده بدون بذر نیز به عنوان شاخصی از کیفیت آب (شاهد) در نظر گرفته شد. ۲۴ ساعت قبل از انجام آزمایش ظروف محتوی آب دوبار تقطیر شده در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا از لحاظ دما به تعادل برسند. بعد از مدت ۲۴ ساعت با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (EC متر)، هدایت الکتریکی هر ظرف اندازه‌گیری شد. سپس میزان هدایت الکتریکی هر گرم نمونه بذر با استفاده فرمول هدایت الکتریکی تعیین شد، که به صورت عدد خوانده شده از EC متر تقسیم بر وزن خشک ۱۰۰ عدد بذر بدست آمد در پایان هدایت الکتریکی بر اساس درصد گزارش شد (ISTA, 2003). از بذرهای برداشت شده مزرعه در هر

[1] این برنامه توسط دکتر افشین سلطانی عضو هیات علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تهیه شده است.

کرت به طور تصادفی ۱۰۰ عدد بذر جدا گردید و برای تعیین وزن هزار دانه مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارSAS و همچنین مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

حداکثر جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به حداکثر جوانه‌زنی سرخارگل نشان داد که اثر تنش خشکی و کود بر حداکثر جوانه‌زنی معنی‌دار بود، همچنین این صفت تحت تأثیر برهمکنش عوامل آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سطح آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح مختلف ترکیبات مختلف کود وجود نداشت (جدول ۳). در سطح آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی بیشترین میزان حداکثر جوانه‌زنی در تیمار کودی ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار و قارچ مایکوریزا آربوسکولار به ترتیب با میانگین ۸۱ و ۸۲ درصد بود که نسبت به شاهد بدون کود اختلاف آماری معنی‌داری نشان داد، اما نسبت به سطوح دیگر کود تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین در سطح آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی حداکثر جوانه‌زنی با میانگین ۷۷ درصد در تیمار کودی ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار و قارچ مایکوریزا آربوسکولار مشاهده شد. پس از آن تیمار ۵۰ درصد نیاز فسفر + *سودوموناس فلورسنس* با میانگین ۷۶ درصد جوانه‌زنی، نسبت به تیمار برتر در گروه بعدی آماری قرار گرفتند. همچنین کمترین جوانه‌زنی با میانگین ۴۴ درصد در شاهد بدست آمد که نسبت به سطوح ترکیبات مختلف کودی اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳). نتایج بدست آمده نشان داد که چنانچه آبیاری سرخارگل بطور کامل انجام شود، در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی جوانه‌زنی بیشتر خواهد بود، در حالی‌که با اعمال تنش خشکی، ترکیبات زیستی بیش از کود شیمیایی تاثیرگذار گردید. همچنین در تیمارهای ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار، مایکوریزا آربوسکولار و ۵۰ درصد نیاز فسفر + *سودوموناس فلورسنس* اگرچه با افزایش تنش خشکی سبب کاهش جوانه‌زنی گردید، اما از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. اثر ترکیبات مختلف کود بر سرعت جوانه‌زنی سرخارگل معنی‌دار بود، همچنین این صفت تحت تأثیر برهمکنش عوامل آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۲). در سطح آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح مختلف ترکیبات مختلف کود وجود نداشت (جدول ۳). در سطح آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی، بیشترین سرعت جوانه‌زنی در ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار و ۵۰ درصد نیاز فسفر + *سودوموناس فلورسنس* با میزان ۰/۰۰۶۶ بذر در ساعت بود که نسبت به شاهد (۰/۰۰۴۶ بذر در ساعت) افزایش معنی‌داری نشان داد، اما نسبت به سطوح دیگر ترکیبات کودی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). با افزایش تنش خشکی در سطح آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی سبب افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی در تیمار ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار و مایکوریزا آربوسکولار شد. در سطح آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی، کمترین سرعت جوانه‌زنی با میانگین ۰/۰۰۵۶ در ساعت در شاهد و ۱۰۰ درصد نیاز فسفر بدست آمد (جدول ۳).

چنین به نظر می‌رسد که که کاهش جذب آب بوسیله بذر در اثر اعمال تنش خشکی منجر به کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر سرخارگل شده است. محققین نیز واکنش متفاوت گیاهان نسبت به تنش خشکی را به عوامل مختلفی از جمله جذب کمتر آب توسط گیاه مادری و در نهایت بذر نسبت داده‌اند (Hamidi *et al*., 2016). بسیاری از گزارش‌ها کاهش مولفه‌های جوانه‌زنی در اثر اعمال تنش خشکی را با کاهش بیان سنتز هورمون‌ها و آنزیم‌های موثر در جوانه‌زنی مرتبط دانسته‌اند (Kafi and Mahdavi-Damghani, 2000).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد بررسی

Table 2- Analysis of variance (mean square) for studied traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	درصد جوانه‌زنی Germination percent	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی Time to start 50% germination	یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	بنیه‌ی بذر Vigor seed
تکرار Repeat	2	267 **	0.0000014 ns	695 ns	3596 **	0.708 **
تنش خشکی Drought	2	1764 **	0.0000009 ns	323 ns	451 ns	9.27 **
خطای a Error a	4	192	0.0000007	449	1047	0.341
کود Fertilizer	5	1366 **	0.000004 **	3439 **	1744 *	4.05 **
تنش خشکی × کود Drought × Fertilizer	10	137.5 **	0.000001 **	945 **	1167 *	0.150 **
خطای b Error b	24	43.9	0.0000005	336	666	0.340
ضریب تغییرات (C.V٪)	–	8.8	11.5	11.3	18.8	11.3

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار.

*, ** and ns is significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively and non-significant

همچنین ترکیبات زیستی می‌توانند از طریق ایجاد تعادل در سطح آنزیم‌ها و تنظیم کننده‌های رشد باعث بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و مولفه‌های جوانه‌زنی شود (Hafeez *et al*., 2004). سالار و همکاران (Salar *et al*., 2013) بیان کردند که افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی به دلیل فعالیت‌های متابولیکی و آنزیم‌ها در بذر و با در دسترس بودن عناصر غذایی مرتبط است. همچنین محققان ظهور سریعتر گیاهچه‌ها در اثر تلقیح بذر با ترکیبات زیستی را گزارش کردند و ترشح اسید ایندول ۳- استیک را در بروز این پاسخ موثر دانستند (Hafeez *et al*., 2004).

زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی

اثر سطوح مختلف کود بر زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی سرخارگل معنی‌دار بود، همچنین این صفت تحت تأثیر برهمکنش عوامل آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۲). در سطح آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی کمترین زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی در تیمار ۵۰ درصد نیاز فسفر + *سودوموناس فلورسنس* با میانگین ۱۴۴ ساعت مشاهده گردید، هرچند که از لحاظ آماری با سطوح دیگر ترکیبات کودی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

تیمار ۵۰ درصد نیاز فسفر + *سودوموناس فلورسنس* در سطح ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی تا حدودی توانست نسبت به دیگر تیمارها، سرعت جوانه‌زنی را بهبود دهد. در سطح آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی در تیمار ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار ۱۵۲ ساعت بود که نسبت به شاهد بدون کود (۲۰۸ ساعت) کاهش معنی‌داری را نشان داد، اما نسبت به سطوح دیگر ترکیبات کودی اختلاف معنی‌داری نداشت.

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی و ترکیبات مختلف کود بر حداکثر جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر

Table 3- Comparison of mean interactions of drought stress and different fertilizer combinations on Germination percent, germination rate, time to start of 50% germination, Germination uniformity and Vigor seed

تنش خشکی Drought stress	ترکیبات کودی Fertilizer combinations	حداکثر جوانه‌زنی (درصد) Germination percent	سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) Germination rate (per hour)	زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی (ساعت) Time to start 50% germination (hour)	یکنواختی جوانه‌زنی (ساعت) Germination uniformity (hour)	بنیه‌ی بذر Vigor seed
آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی irrigation after 25 percent depletion of soil water	100 % P	85 a	0.0063 b	150 cde	135 a–d	2.39 a
	50 % P + Arbuscular mycorrhizal	80 ab	0.0070 ab	146 de	124 a–d	2.37 ab
	Arbuscular mycorrhizal	81 a	0.0063 b	154 b–e	139 a–d	2.19 abc
	50 % P + Pseudomonas fluorescens	80 ab	0.0066 ab	144 de	144 a–d	2.12 abc
	Pseudomonas fluorescens	81 a	0.0063 b	160 b–e	148 a–d	1.95cde
	Control	78 ab	0.0060 bc	171 bcd	140 a–d	1.74 def
آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی irrigation after 50 percent depletion of soil water	100 % P	78 ab	0.0060 bc	173 bcd	159 abc	1.74 def
	50 % P + Arbuscular mycorrhizal	81 a	0.0066 ab	152 b-e	107 d	2.05 bcd
	Arbuscular mycorrhizal	82 a	0.0063 b	159 b-e	113 bcd	1.94 cde
	50 % P + Pseudomonas fluorescens	74 abc	0.0066 ab	158 b-e	124 bcd	1.65 efg
	Pseudomonas fluorescens	73 abc	0.0060 bc	167 bcd	110 cd	1.46gfh
	Control	64 cd	0.0046 c	208 a	174 a	0.99 ij
آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی irrigation after 75 percent depletion of soil water	100 % P	68 bcd	0.0056 bc	184 abc	147 a-d	1.17 hi
	50 % P + Arbuscular mycorrhizal	77 ab	0.0080 ab	129 e	111 cd	1.57gf
	Arbuscular mycorrhizal	77 ab	0.0070 a	140 de	129 abcd	1.42 gfh
	50 % P + Pseudomonas fluorescens	76 abc	0.0063 b	157 b-e	161 ab	1.38 gh
	Pseudomonas fluorescens	60 d	0.0060 bc	164 bcde	155 a-d	0.80 j
	Control	44 e	0.0056 bc	187 ab	140 a-d	0.34 k

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

در سطح آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی کمترین زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی در تیمار ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار با میانگین ۱۲۹ ساعت مشاهده گردید، که از لحاظ آماری با سطوح شاهد و ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی فسفر (به ترتیب ۱۸۷ و ۱۸۴ ساعت) اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳). اثر سطوح

مختلف کود بر یکنواختی جوانه‌زنی سرخارگل معنی‌دار بود، همچنین این صفت تحت تأثیر برهمکنش عوامل آزمایشی در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۲). در سطح آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی بیشترین یکنواختی جوانه‌زنی در ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار و ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی به ترتیب با میانگین ۱۲۴ و ۱۳۵ ساعت مشاهده گردید، هر چند که از لحاظ آماری با سطوح دیگر ترکیبات کودی و شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). در سطح آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی بیشترین یکنواختی جوانه‌زنی در ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار با میانگین ۱۱۱ ساعت مشاهده گردید. نتایج بدست آمده دیگر در این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش تنش خشکی در سطح آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی نسبت به شرایط آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی اختلاف معنی‌داری در یکنواختی جوانه‌زنی بذر سرخارگل مشاهده نگردید (جدول ۳).

قاسمی گلعذانی و همکاران (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2013) نیز کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه سویا ناشی از تعویق آبیاری گیاه مادری را در مراحل مختلف رسیدگی بذر گزارش کردند. همچنین هادی و همکاران (Hadi *et al.*, 2009) ضمن بررسی اثر تنش خشکی بر روی گیاه مادری در دوره تکوین بذر، کاهش درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر و کاهش برخی خصوصیات مرتبط با بهبود و احیا کیفیت جوانه‌زنی بذر در اثر تنش خشکی را گزارش کردند. لیفشیتز و همکاران (Lifshitz *et al.*, 1987) گزارش کردند که ریزجانداران افزاینده رشد گیاه می‌تواند از طریق سازوکارهای مختلفی از جمله تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های گیاهی حل فسفات کم محلول و کاهش سطح اتیلن سبب ظهور سریع گیاهچه و یکنواختی شود. باکتری‌های محرک رشد با سنتز محرک‌های رشد و همچنین ترشح اسیدهای آمینه مختلف و انواع آنتی بیوتیک‌ها موجب بهبود رشد گیاه می‌گردد (Han and Lee, 2006).

بنیه‌ی بذر

اثر تنش خشکی و کود بر بنیه‌ی بذر سرخارگل معنی‌دار بود، همچنین این صفت تحت تأثیر برهمکنش عوامل آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۲). تغییرات بنیه ی بذر با افزایش تنش خشکی روند کاهشی را نشان داد، بطوری‌که در تیمار شاهد بدون کود، بنیه ی بذر در آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی ۱/۷۴ بود، اما در آبیاری پس از ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی به ترتیب سبب کاهش ۴۳/۱ و ۵۴/۰ درصد آن گردید (جدول ۳). همچنین در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز فسفر، بنیه ی بذر در آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی ۲/۳۹ بود، اما در آبیاری پس از ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی به ترتیب سبب کاهش ۲۷/۱ و ۵۱/۰ درصد آن گردید (جدول ۳). از سوی دیگر در تیمار ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار و مایکوریزا آربوسکولار اگرچه در آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی نسبت به آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی سبب کاهش بنیه ی بذر سرخارگل شد، اما از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. نتایج بدست آمده دیگر در این پژوهش نشان می‌دهد در سطح آبیاری پس از ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی بیشترین بنیه ی بذر سرخارگل در تیمار ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار بود که نسبت به مایکوریزا آربوسکولار اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳).

نتایج حاصل حاکی از این است که اعمال تنش خشکی باعث تولید بذوری با کیفیت پایین می‌گردد. تنش خشکی روی گیاه مادری سبب کاهش ضخامت پوسته بذر و افزایش نفوذپذیری غشا سلولی شده و در نتیجه باعث کاهش بنیه بذر می‌گردد (Atarod *et al.*, 2012). تاجیک و همکاران (Tajik *et al.*, 2008) نیز کاهش قابلیت جوانه‌زنی و شاخص‌های بنیه بذر در اثر اعمال تنش خشکی بر گیاه مادری را مشاهده کردند، همچنین بهبود بیشتر کیفیت جوانه‌زنی و بنیه بذرهای تنش خشکی دیده را با تیمار با ترکیبات زیستی گزارش کردند.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد بررسی

Table 4- Analysis of variance (mean square) for studied traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	طول ریشه‌چه Root length	طول ساقه‌چه Stem length	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	وزن هزار دانه Seed thousand weight
تکرار Repeat	2	0.673 **	0.236 **	0.001 ns	230 **	1.35 **
تنش خشکی Drought	2	3.121 **	1.73 **	0.038 **	135 **	2.57 **
خطای a Error a	4	0.090	0.058	0.0011	150	0.53
کود Fertilizer	5	1.191 **	0.810 **	0.040 **	48.6 ns	0.90 **
تنش خشکی × کود Drought × Fertilizer	10	0.051 **	0.038 **	0.006 **	18.44 ns	0.092 ns
خطای b Error b	24	0.019	0.015	0.001	20.9	0.21
ضریب تغییرات (C.V٪)	–	11.9	13.1	10.4	10.6	11.5

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار.

*, ** and ns is significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively and non-significant

طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه

اثر تنش خشکی و کود بر طول ریشه‌چه گیاهچه سرخارگل معنی‌دار بود، همچنین این صفت تحت تأثیر برهمکنش عوامل آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۴). در سطح آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی بیشترین طول ریشه‌چه در ۱۰۰ درصد نیاز فسفر و ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار با میانگین ۱/۶۰ سانتی‌متر مشاهده گردید، که نسبت به شاهد و *سودوموناس فلورسنس* از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). در سطح آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی بیشترین طول ریشه‌چه در ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار و مایکوریزا آربوسکولار مشاهده گردید که نسبت به شاهد به ترتیب ۳۴/۹ و ۳۱/۶ درصد افزایش نشان داد. همچنین در سطح آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی بیشترین طول ریشه‌چه در ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار و ۵۰ درصد نیاز فسفر + *سودوموناس فلورسنس* مشاهده گردید.

به نظر می‌رسد احتمالاً دلیل تاثیر مثبت قارچ مایکوریزا و باکتری سودوموناس در بهبود شرایط جوانه‌زنی، افزایش بیان و سنتز هورمون‌ها به کمک این ترکیبات زیستی است. نتایج بدست آمده دیگر در این پژوهش نشان می‌دهد که سطوح ترکیبات کود زیستی در سطح آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی تا حدودی توانسته مانع از کاهش طول ریشه‌چه گردد، هرچند که در سطح آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی سبب کاهش معنی‌دار طول ریشه‌چه سرخارگل گردید (جدول ۵). اثر تنش خشکی و کود بر طول ساقه‌چه گیاهچه سرخارگل معنی‌دار بود، همچنین این صفت تحت تأثیر برهمکنش عوامل آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین طول ساقه‌چه در سطوح مختلف تنش خشکی در تیمارهای ۵۰ درصد نیاز فسفر +

مایکوریزا آربوسکولار و مایکوریزا آربوسکولار مشاهده گردید. همچنین کمترین میزان طول ساقه‌چه گیاهچه سرخارگل در شاهد بدون کود بدست آمد (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی و ترکیبات مختلف کود بر طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه

Table 5- Comparison of mean interactions of drought stress and different combinations of fertilizer on root length, stem length, and seedling dry weight

تنش خشکی Drought stress	ترکیبات کودی Fertilizer combinations	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Root length (cm)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Stem length (cm)	وزن خشک گیاهچه (میلی گرم) Seedling dry weight (mg)
آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی irrigation after 25 percent depletion of soil water	100 % P	1.60 a	1.20 abc	0.37 ab
	50 % P + Arbuscular mycorrhizal	1.60 a	1.36 a	0.39 a
	Arbuscular mycorrhizal	1.46 ab	1.23 ab	0.35 a-e
	50 % P + Pseudomonas fluorescens	1.43 ab	1.20 abc	0.38 ab
	Pseudomonas fluorescens	1.26 bc	1.13 bcd	0.34 a-e
	Control	1.23 bc	0.96 c-f	0.29 efg
آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی irrigation after 50 percent depletion of soil water	100 % P	1.26 bc	0.93 def	0.32 b-f
	50 % P + Arbuscular mycorrhizal	1.43 ab	1.06 b-e	0.35 a-d
	Arbuscular mycorrhizal	1.36 ab	0.96 c-f	0.36 abc
	50 % P + Pseudomonas fluorescens	1.26 bc	0.93 def	0.33 a-f
	Pseudomonas fluorescens	1.20 bcd	0.80 fgh	0.30 defg
	Control	0.93 e	0.60 h	0.27 fg
آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی irrigation after 75 percent depletion of soil water	100 % P	0.93 e	0.80 fgh	0.24 g
	50 % P + Arbuscular mycorrhizal	1.06 cde	0.96 c-f	0.38 ab
	Arbuscular mycorrhizal	0.96 de	0.86 efg	0.35 a-d
	50 % P + Pseudomonas fluorescens	1.03 cde	0.80 fgh	0.30 c-g
	Pseudomonas fluorescens	0.66 f	0.66 gh	0.29 d-g
	Control	0.40 g	0.36 i	0.17 h

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

تغییرات طول ساقه‌چه با افزایش سطوح مختلف تنش خشکی روند کاهشی را نشان می‌دهد، به طوری‌که در سطح آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، طول ساقه‌چه در شاهد ۰/۹۶ سانتی‌متر بود و سطح آبیاری پس از ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی به ترتیب سبب کاهش ۳۷/۵ و ۶۲/۵ درصد طول ساقه‌چه گردید (جدول ۵). هادی و همکاران (Hadi *et al*., 2010) گزارش کردند که اختلال در جذب آب در مراحل مختلف رشد باعث

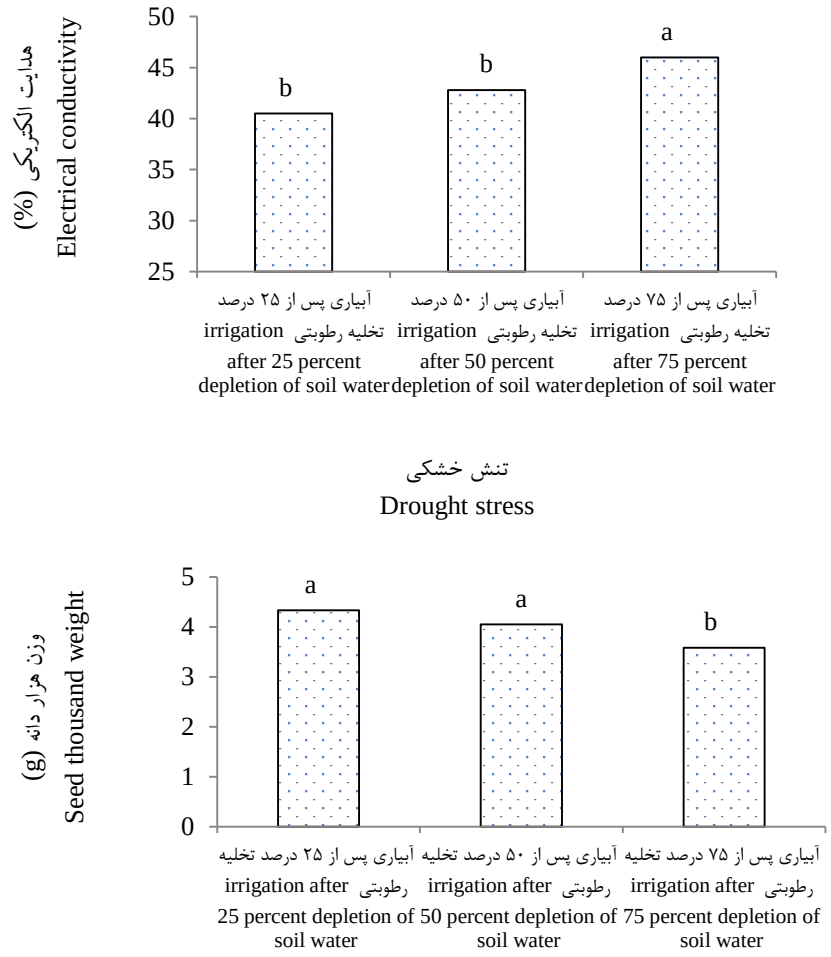
کاهش و یا عدم انتقال مواد غذایی به لپه‌ها شده که در نهایت منجر به تولید کاهش رشد و تولید گیاهچه‌های ضعیف می‌گردد. از سوی دیگر نتایج بدست آمده توسط محققان نشان می‌دهد که باکتری ها و قارچ های محرک رشد نسبت به شاهد باعث افزایش طول ریشه‌چه در گیاه ذرت گردید (Noumavo *et al*., 2013). گزارش شده که باکتری سودوموناس، آمونیوم حاصل از تجزیه آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلات را به عنوان منبع نیتروژن مورد استفاده قرار داده و با مصرف پیش ماده اتیلن موجب کاهش اتیلن ناشی از تنش می‌گردد (Penrose and Glick, 2003).

وزن خشک گیاهچه

اثر تنش خشکی و کود بر وزن خشک گیاهچه سرخارگل معنی‌دار بود، همچنین این صفت تحت تأثیر برهمکنش عوامل آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۴). در سطح آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، بیشترین وزن خشک گیاهچه در ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار با میانگین ۰/۳۹ میلی‌گرم مشاهده گردید، که نسبت به شاهد ۲۱/۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). در سطح آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی بیشترین وزن خشک گیاهچه در ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار و مایکوریزا آربوسکولار مشاهده گردید که نسبت به ۱۰۰ درصد نیاز فسفر و ۵۰ درصد نیاز فسفر + *سودوموناس فلورسنس* اختلاف معنی‌داری نشان نداد. همچنین در سطح آبیاری پس از ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی کمترین وزن خشک گیاهچه در شاهد مشاهده گردید (جدول ۵). نتایج بدست آمده دیگر در این پژوهش نشان می‌دهد که اگرچه با افزایش تنش خشکی سبب کاهش وزن خشک گیاهچه سرخارگل گردید، اما در ترکیبات کودی ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار و مایکوریزا آربوسکولار این میزان کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش وزن گیاهچه در شرایط تنش خشکی تحرک کم مواد غذایی و انتقال کمتر آنها به بذر و در نتیجه کاهش مواد ذخیره‌ای بذر باشد که تولید گیاهچه‌های ضعیف‌تری می‌نماید (Tari *et al*., 2002). همچنین براساس گزارش محققان، ترکیبات زیستی مقدار اسید ایندول استیک و سیتوکینین را در شرایط تنش‌های محیطی در گیاه افزایش داده و در نتیجه رشد گیاهچه بیشتر نسبت به شاهد بیانگر این مطلب می‌باشد (Cakmakçi *et al*., 2006). قارچ مایکوریزا آربوسکولار به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر، نیتروژن و برخی عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب و تولید هورمون‌های رشد و افزایش تحمل گیاه در برابر عوامل بیماری‌زا، به عنوان تیمار موثری در بهبود جوانه زنی و رشد مورد توجه واقع شده است(Bauma *et al*., 2015). همچنین باکتری *سودوموناس فلورسنس* می توانند از طریق تثبیت نیتروژن، انحلال فسفات‌های کم محلول، تأمین آهن از طریق تولید سیدروفورهای میکروبی، تولید فیتوهورمون‌هایی مثل اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها و کاهش اتیلن باعث بهبود رشد شود (Vurukonda *et al*., 2016).

هدایت الکتریکی و وزن هزار دانه

اثر تنش خشکی بر هدایت الکتریکی بذرهای سرخارگل معنی‌دار بود، اما این صفت تحت تأثیر برهمکنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۴). هدایت الکتریکی بذرهای سرخارگل با افزایش تنش خشکی روند افزایشی را نشان داد، به‌طوری‌که در تیمار آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، هدایت الکتریکی ۴۰/۵ درصد بود، اما تیمار آبیاری پس از ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی به ترتیب سبب افزایش ۵/۳ و ۱۱/۹ درصد هدایت الکتریکی گردید (شکل ۱). نتایج بدست آمده دیگر در این پژوهش نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی بذرهای سرخارگل در سطح آبیاری پس از ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی از لحاظ آماری فاقد تفاوت معنی داری بود (شکل ۱).

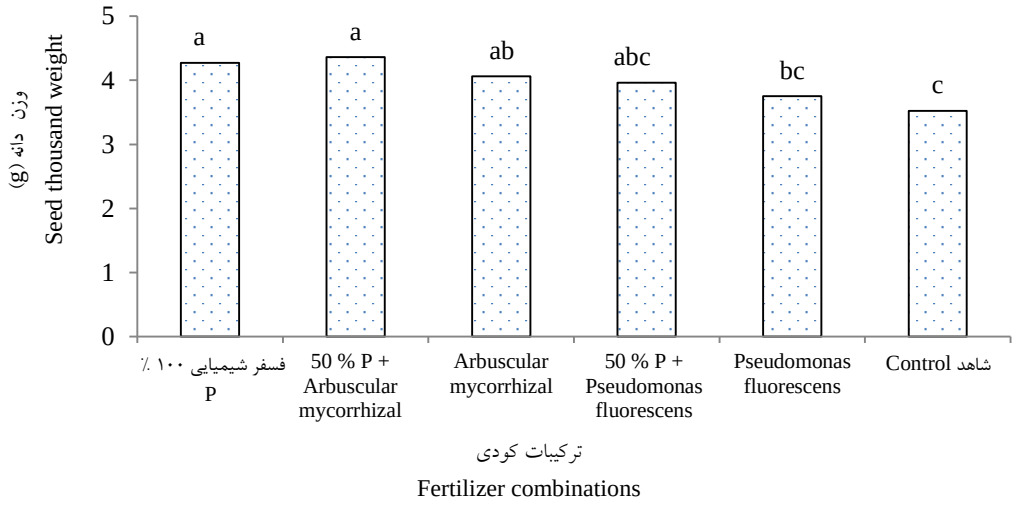


شکل ۱- اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر هدایت الکتریکی و وزن هزار دانه

Figure 1- Effect of different levels of drought stress on electrical conductivity and seed thousand weight

اثر تنش خشکی و کود بر وزن هزار دانه بذرهای سرخارگل معنی‌دار بود، اما این صفت تحت تأثیر برهمکنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۴). وزن هزار دانه بذرهای سرخارگل با افزایش تنش خشکی روند کاهشی را نشان داد، به‌طوری‌که در تیمار آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، وزن هزار دانه ۴/۳۳ گرم بود، اما تیمار آبیاری پس از ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی به ترتیب سبب کاهش ۶/۴۶ و ۱۷/۳۲ درصد وزن هزار دانه گردید (شکل ۱). از سوی دیگر بیشترین وزن هزار دانه در ترکیبات کودی ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار با میانگین ۴/۳۶ گرم بود، که نسبت به شاهد و *سودوموناس فلورسنس* (۳/۵۲ و ۳/۷۵ گرم) افزایش معنی‌داری نشان داد، اما نسبت به ترکیبات دیگر کودی اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲). اعمال تنش در مراحل رشدی گیاه باعث تولید بذوری با کیفیت پایین می‌گردد، زیرا در این شرایط نشت مواد از پوسته بذر

افزایش می‌یابد که این امر به علت پوسته آسیب دیده بذور، سهولت پاره شدن پوسته و افزایش نفوذپذیری غشا سلولی است (Atarod *et al*., 2012). در طی آبگیری بذور، غشا قابلیت و توانایی از دست رفته خود را مجدداً بدست می آورد، ولی بذور قوی احتمالاً غشاهای خود را با سرعت بیشتری سازمان دهی مجدد می کنند، لذا تراوش از آنها نسبت به بذور ضعیف‌تر کمتر خواهد بود و در نتیجه هدایت الکتریکی کمتری خواهند داشت (Larson, 1968).



شکل ۲- اثر سطوح ترکیبات مختلف کود بر وزن هزار دانه

Figure 2- Effect of different levels of fertilizer on seed thousand weight

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که افزایش تنش خشکی اعمال شده روی گیاه مادری باعث تاثیر نامطلوبی بر درصد، سرعت جوانه‌زنی بذر و وزن هزار دانه سرخارگل می گردد. همچنین هدایت الکتریکی بذرهای سرخارگل با افزایش تنش خشکی روند افزایشی را نشان داد. در تنش خشکی، ترکیبات زیستی بیش از کود شیمیایی تاثیرگذار هستند. این افزایش عمدتاً به دلیل تولید تنظیم کننده‌های رشد توسط ترکیبات زیستی و اثر آن‌ها بر رشد ریشه بوده که جذب آب را بهبود بخشیده و در نتیجه باعث افزایش کیفیت خصوصیات جوانه‌زنی و رشد می‌گردد. اگرچه با افزایش تنش خشکی،کاهش کیفیت جوانه‌زنی بذر سرخارگل مشاهده شد، اما ترکیبات کودی ۵۰ درصد نیاز فسفر + مایکوریزا آربوسکولار و مایکوریزا آربوسکولار می‌تواند عامل مهمی در بالا بردن درصد و سرعت جوانه‌زنی شوند. از سوی دیگر به نظر می‌رسد باکتری *سودوموناس فلورسنس* در این آزمایش در سطح پایین‌تر از قارچ مایکوریزا آربوسکولار توانست درصد و سرعت جوانه‌زنی و اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را بهبود دهد.

منابع

Reference

Abdul Baki, A.A., and J.D. Anderson. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. J. Crop Sci. 13: 630-633.

Amiri, M. B., P. Rezvani Moghaddam, H.R. Ehyai, J. Fallahi, and M. Aghhavani shajari. 2011. Effect of osmotic and salinity stresses on germination and seedling growth indices of artichoke (*Cynara scoolymus*) and purple coneflower (*Echinacea purpurea*). Environ. Stresses Crop Sci. 3(2): 165-176. (In Persian)

Ansari, K., A. Salehi, M. Movahedi Dehnavi, and S. Heydari. 2016. Effect of different seed priming on germination characteristics and some antioxidant enzymes activity of *Echinacea purpurea* . Iranian J. Seed Sci. Res. 3(3): 1-10. (In Persian)

Atarod, H., H. Irannejad, A.H. Shirani Rad, R. Amiri, and Gh. Akbari. 2012. Assessment of drought stress and planting date effects applied on original plant, on its seed electrical conductivity rate. Iranian J. Field Crops Res. 9(2): 242-247. (In Persian)

Bauma, C., W. El-Tohamy, and N. Gruda. 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using *arbuscular mycorrhizal* fungi: A review. Sci. Hortic. 187: 131-141.

Berti, M., R. Wilckens, S. Fischer, and F. Hevia. 2002. Effect of Harvest Season, Nitrogen, Phosphorus and Potassium on Root Yield, Echinacoside and Alkylamides in *Echinacea angustifolia* L. in Chile. Acta Hortic. 576: 303-310.

Birt, D.F., M.P. Widrlechner, C.A. LaLone, L.K, Wu, J.H. Bae, A.K.S. Solco, G.A. Kraus, P.A. Murphy, E.S. Wurtele, Q.A. Leng, S.C. Hebert, W.J. Maur, and J.P. Price. 2008. Echinacea in infection. Am. J. Clin. Nutr. 87 (2): 488S-492S.

Burd, G.I., D.G. Dixon, and B.R. Glick. 2000. Plant growth promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. Can. J. Microbiol. 46: 237–245.

Cakmakçi, R., F. Dönmez, A. Aydın, and F. Şahin. 2006. Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. Soil Biol. Biochem. 38: 1482-1487.

Dodd, G.L., and L.A. Donovan. 1999. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. Am. J. Bot. 86: 1146-1153.

Elouaer, M.A., and C. Hannachi. 2012. Seed priming to improve germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius*) under salt stress. Euras. J. Biosci. 6: 76-84.

Farooq, M., A.Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and SMA. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agron. Sustainable Dev. 29(1): 185-212.

Ghassemi-Golezani, K., and S. Ghassemi. 2013. Effects of water supply on seed development and quality of chickpea cultivars. Plant Breed. Seed Sci. 67: 37-44.

Gholami ganjeh, S., A. Salehi, and A. Moradi. 2015. Effects of maternal plant nutrition on the absorption of some nutritional elements and germination characteristics of Cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian J. Seed Sci. Technol. 4(1): 109-118. (In Persian)

Ghorchiani, M., GH. Akbari, H.A. Alikhani, M. Zarei, and I. Allahdadi. 2013. Effect of *Arbuscular mycorrhizal* fungi and *Pseudomonas fluorescens* on phosphorus fertilizer use efficiency, mycorrhizal dependence and maize yield under water deficit conditions. J. Water Soil Sci. 17(63): 123-136. (In Persian)

Hadi, H., J. Daneshian, A. Asgharzadeh, A. Hamidi, P. Jonoubi, F. Ghooshchi, and M. Nasri. 2009. Effect of free and symbiotic nitrogen-fixing bacterial co-inoculation on seed and seedling of soybean seeds produced under deficit water condition. J. Agroecol. 1(1): 53-64. (In Persian)

Hadi, H., J. Daneshian, A. Hamidi, A. Asgharzade and, R. Zarghami. 2010. Effect of rhizobacteria on seedling characteristics of seeds produced under deficit irrigation. Agron. J. (Pajouhesh and Sazandegi). 86: 42-50. (In Persian)

Hafeez, F.Y., M.E. Safdar, A.U. Chaudry, and K.A. Malik. 2004. Rhizobial inoculation improves seedling emergence, nutrient uptake and growth of cotton. Aust. J. Exp. Agric. 44: 617-622.

Hamidi, A., J. Daneshian, and A. Asgharzadeh. 2016. A review of drought stress on mother plant effect on soybean seed germination and vigour improvement by some beneficial soil microorganisms treatment assessment. Iranian J. Seed Sci. Res. 3(2): 109-124. (In Persian)

Han, H.S., and K.D. Lee. 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Plant Soil Environ. 52: 130-136.

Hobbs, C.B. 1994. Echinacea, a literature review. Herbalgram. 30: 33-47.

ISTA. 2003. Handbook for seedling evaluation (3rd.ed). International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland.

Kafi, M., and A. Mahdavi-Damghani. 2000. Mechanism of Tolerance to Environmental Stress in Sowings Plant. The Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)

Larson, L. A. 1968. The effect of soaking pea seed with or without seed coats has on seedling growth. Plant Physiol. 43: 255-259.

Lazcano, C., F.H. Barrios-Masias, and L.E. Jackson. 2014. Arbuscular mycorrhizal effects on plant water relations and soil greenhouse gas emissions under changing moisture regimes. Soil Biol. Biochem. 74: 184-192.

Lifshitz, R., J.W. Kloepper, M. Kozlowski, C. Simonson, J. Carlson, E.M. Tipping, and I. Zaleska. 1987. Growth promotion of canola (rapeseed) seedling by a strain of Pseudomonas putida under gnotobiotic conditions. Can. J. Microbiol. 33: 390-395.

Makkizadeh Tafti, M., R. Farhoudi, H.A. Naghdi badi, and A. Mehdizadeh. 2006. Assigning the best treatment for increasing germination of three medicinal plants seeds: *Rubia tinctourum* L., *Echinacea angustifolia* D.C. and *Myrtus communis* L. Iranian J. Med. Aromat. Plants. 22 (2): 105-116. (In Persian)

Noumavo, P.A., E. Kochoni, Y.O. Didagbe, A. Adjanohoun, M. Allagbe, R. Sikirou, E. W. Gachomo, S.O. Kotchoni, and L. Baba-Moussa. 2013. Effect of different plant growth promoting rhizobacteria on maize seed germination and seedling development. Am. J. Plant Sci. 4: 1013-1021.

Omidbeigi, R. 2002. Study of cultivation and adaptability of purple coneflower (*Echinaceae purpurea*) in the north of Tehran. Water Soil Sci. (J. Sci. Technol. Agric. Nat. Res.). 6(2): 231-240. (In Persian)

Penrose, D.M., and B.R. Glick. 2003. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. Physiol. Plant. 118: 10-15.

Salar, M., H.R. Mobasser, and A. Ghanbari-Malidarreh. 2013. Effects of nitrogen and potassium rates of mother plant on seed N and K content, germination and seedling growth of rice seeds. Adv. Environ. Biol. 7(1): 147-152.

Schenck, N.C., and K. Perez. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. Synergistic Publishing Gainesville, Florida, USA.

Sharma, A.K., and A.K. Sharma. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, India.

Smith, S.E., and D.J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Third Ed. Academic Press, London.

Soltani, A., S. Galashi, E. Zeinali, and N. Latifi. 2001. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Sci. Technol. 30(1): 51-60.

Tajik, M., I. Alahdadi, J. Daneshian, H. Iran nezhad, A. Hamidi, and H. Jabbari. 2008. Consequence of application some of biofertilizers on improvement of the soybean *Glycine max* (L.) Merr. Seed vigour produced under water deficit condition. Agric. Res. 7(4): 13-27. (In Persian)

Tari, I., J. Csiszár, G. Szalai, F. Horváth, A. Pécsváradi, G. Kiss, Á. Szepesi, M. Szabó, and L. Erdei, 2002. Acclimation of tomato plants to salinity stress after a salicylic acid pretreatment. Acta Biol. 46(3-4): 55-56.

Vurukonda, S.S., S. Vardharajula, M. Shrivastava, and A. Skz. 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiol. Res. 184: 13-24.