

مقاله پژوهشی

تأثیر اعمال تنش خشکی، میکوریزا و باکتری ریزوبیوم روی گیاه مادری بر قدرت بذر تولیدی و صفات مرتبط با آن در سویا (*Glycine max*) رقم کوثر

اسماعیل قلی‌نژاد^{۱*}، ناصر صمصامی^۲، عباس ابهری^۳

چکیده مبسوط

مقدمه: سویا گیاهی است که دارای تحمل‌پذیری متوسطی نسبت به خشکی است. تنش خشکی یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی است که تولید سویا را تا حدود ۴۰ درصد تحت تأثیر قرار می‌دهد. بعلاوه تنش خشکی باعث کاهش قوه نامیه بذر حاصل از شرایط تنش می‌شود. اثرات مثبت قارچ‌های میکوریزا در افزایش ماده خشک و زیست توده گیاهی به‌ویژه در شرایط کم‌آبایی و در نواحی خشک به اثبات رسیده است. علت افزایش عملکرد محصول در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا، تعادل آبی آنها در شرایط تنش کم‌آبی و در نتیجه جذب بیشتر آب و عناصر معدنی گزارش شده است. باکتری‌های ریزوبیوم، کربوهیدرات‌ها و سایر مواد غذایی را از آوند آبکشی گرفته و انرژی دریافتی را صرف تبدیل نیتروژن هوا به یون آمونیوم و در نهایت اسیدهای آمینه می‌کنند. باکتری ریزوبیوم ژاپونیکوم به‌صورت طبیعی در خاک‌های ایران وجود ندارد و باید باکتری‌ها همراه بذر به خاک اضافه شود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به منظور بررسی خصوصیات جوانه‌زنی، قدرت بذر و صفات مرتبط با آن روی بذر سویا رقم کوثر رشد یافته تحت شرایط تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری، در سال ۱۳۹۷ در سه تکرار انجام گرفت. در آزمایش مزرعه‌ای، عامل تنش خشکی شامل آبیاری مطلوب (آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر)، تنش ملایم خشکی (آبیاری بعد از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر) و تنش شدید خشکی (آبیاری بعد از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تستک تبخیر کلاس A)، قارچ میکوریزا در سه سطح شامل بدون میکوریزا و تلقیح با گونه گلوموس موسه‌آ و گلوموس اینترادایسز و باکتری ریزوبیوم در دو سطح شامل عدم تلقیح و تلقیح با ریزوبیوم جاپونیکوم بود.

یافته‌ها: مقایسه میانگین نشان داد بذرهای بدست آمده در شرایط آبیاری نرمال، تلقیح با میکوریزا و باکتری بیشترین وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، درصد و سرعت جوانه‌زنی را داشتند. در شرایط فوق‌کمترین هدایت الکتریکی بذر و مدت جوانه‌زنی بدست آمد. تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، شاخص مقاومت به خشکی، شاخص تحمل ریشه، شاخص تحمل ساقه، شاخص بنیه گیاهچه و شاخص بنیه بذر را به ترتیب به میزان ۴۲، ۲۳، ۳۸، ۱۸، ۳۰، ۱۸، ۵۰، ۲۶ و ۴۱ و ۲۱ درصد کاهش داد. تلقیح با قارچ میکوریزا گونه موسه‌آ و اینترادایسز در مقایسه با عدم تلقیح قارچ، شاخص بنیه بذر، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه را به ترتیب به میزان ۴۸، ۴۲، ۲۷، ۲۶، ۴۱ و ۳۷ و ۳۵ و ۳۳ درصد افزایش داد. تلقیح با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح باکتری نیز صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه را به ترتیب به میزان ۲۱، ۱۶ و ۱۸ درصد افزایش داد. بیشترین درصد آب بافت گیاهچه در شرایط آبیاری مطلوب، تلقیح با قارچ میکوریزا و تلقیح با باکتری ریزوبیوم بدست آمد. نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این تحقیق، در هر سه شرایط مختلف آبیاری جهت بهبود جوانه‌زنی و افزایش قدرت بذر، استفاده از قارچ میکوریزا بویژه گونه موسه‌آ و تلقیح با باکتری ریزوبیومی موثر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جوانه‌زنی، شاخص پایداری غشا، ضریب آلومتریک، بنیه بذر، هدایت الکتریکی بذر

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- خصوصیات جوانه‌زنی، سرعت و مدت جوانه‌زنی سویا رقم کوثر روی بذرهای بدست آمده از شرایط مختلف آبیاری بررسی گردید.
- ۲- تأثیر میکوریزا و باکتری بر قدرت بذر و صفات مرتبط با آن تحت سطوح مختلف تنش خشکی ارزیابی گردید.
- ۳- میزان آسیب وارده به غشاهای بذر حاصل از برهمکنش آبیاری، تلقیح با میکوریزا و باکتری بررسی شد.



مقدمه

سویا با نام علمی *Glycine max* L. مهمترین گیاه دانه روغنی در دنیا است. سویا یک لگوم تثبیت کننده نیتروژن است که معمولاً در تناوب با غلات کشت می‌گردد. اهمیت آن در تولید دانه بدلیل پتانسیل بالای عملکرد و هزینه کمتر برداشت آن در مقایسه با دانه‌های دیگر در حال افزایش است (مسکویتا و همکاران، ۲۰۰۷). سویا در طی دوره رشد به شش تا هفت هزار مترمکعب آب نیاز دارد و به‌جز در مناطق پرباران، زراعت دیم آن امکان پذیر نیست. این گیاه در زمان رشد رویشی تا نزدیک گلدهی تا حدودی به تنش آبی مقاوم بوده ولی در دوره رشد زایشی به آبیاری منظم نیاز دارد (سینگ و والینگ فورد^۱، ۲۰۱۰). سویا از گیاهان با ارزش تولیدکننده دانه‌های روغنی است که با داشتن حدود ۲۰ درصد روغن و ۴۰ درصد پروتئین، در بین دانه‌های روغنی در سطح دنیا بیشترین سطح زیر کشت (۱۲۳/۵۵ میلیون هکتار) و تولید (۳۵۲ میلیون تن) در سال ۲۰۱۷ را داشته است (فائو^۲، ۲۰۱۷). زراعت این گیاه در ایران از نظر تأمین بخشی از روغن مورد نیاز کشور از اهمیت خاصی برخوردار است (خواجویی‌نژاد^۳ و همکاران، ۲۰۰۵).

تنش خشکی یکی از عامل‌های مهم تنش‌های غیرزیستی است که رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (جلیل^۴ و همکاران، ۲۰۰۹). تنش خشکی انتهای فصل در طول دوره پر شدن دانه با تأثیر بر اندازه و وزن بذر روی صفات درصد جوانه‌زنی، تسریع پیری، سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و هدایت الکتریکی بذرهای گندم موثر بود و باعث کاهش قوه نامیه بذر تیمار تنش به نسبت شاهد شد (ابهری و گالشی^۵، ۲۰۰۷). محققان در آزمایشی روی سویا بیان کردند که تنش خشکی از طریق تأثیر مستقیم بر متابولیسم بذر، باعث کاهش حداکثر درصد جوانه‌زنی بذرهای برداشت شده از شرایط تنش می‌شود.

کیفیت بذر سویا تحت تأثیر ژنوتیپ و عواملی است که در طی رشد و نمو بذر روی بوته مادری در مزرعه اتفاق می‌افتد. از جمله این عوامل نوسانات رطوبت و دمای بالا می‌باشد (ویرا^۶ و همکاران، ۱۹۹۱). پژوهشگران در مطالعه‌ای به کاهش درصد جوانه‌زنی سویا با وقوع تنش خشکی اشاره کرده‌اند (تاتیک^۷ و همکاران، ۲۰۰۴). افزایش فواصل آبیاری در دوره غلافدهی تا رسیدگی در سویا موجب کاهش خصوصیات کیفی بذر سویا از جمله کاهش وزن هزار دانه و در نتیجه کاهش بنیه بذر می‌شود (جلیل شش بهره و موحدی دهنوی^۸، ۲۰۱۲). کاهش درصد جوانه زنی در سویا می‌تواند به دلیل کاهش وزن هزار دانه (مواد ذخیره دانه) و یا کاهش جذب آب به دلیل ساختار پوسته دانه یا میزان خلل و فرج باشد (چالپیس و اسمیت^۹، ۲۰۰۱).

در بین عوامل مختلف موثر بر تولید محصولات کشاورزی، بذر عامل اساسی برای کارایی عوامل دیگر به شمار می‌رود (آلیوا^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج سایر محققان نشان داده است که تنش در شرایط مزرعه‌ای سبب کاهش در تمامی صفات جوانه‌زنی بذر گندم به‌جز نسبت ساقه‌چه به ریشه‌چه و میانگین زمان جوانه‌زنی گردید (عبدلی و سعیدی^{۱۱}، ۲۰۱۲). در گزارش دیگری مشخص گردید که قطع آب در مرحله گلدهی و پر شدن دانه، کاهش درصد جوانه‌زنی، قوه نامیه، سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه را به دنبال داشت (قاسمی گلعدانی^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۲). سرعت و میزان درصد سبز شدن بذرهای می‌تواند تأثیر زیادی روی میزان عملکرد و کیفیت تولید گیاهان زراعی داشته باشد (اسکندری و عالی‌زاده امرایی^{۱۳}، ۲۰۱۴).

قارچ‌های میکوریزا به‌عنوان یکی از مهمترین ریزجانداران خاک با برقراری همزیستی با گستره وسیعی از گیاهان به سه شکل اکتومیکوریزا، آندومیکوریزا و اکتاندومیکوریزا سبب بهبود جذب عناصر غذایی توسط

⁷ Vieira

⁸ Tatic

⁹ Jalil Shesh Bahre and Movahedi Dehnavi

¹⁰ Chachelis and Smith

¹¹ Ilieva

¹² Abdoli and Saeidi

¹³ Ghassemi-Golezani

¹⁴ Eskandari and Alizadeh-Amraie

¹ Mesquita

² Singh and Walingford

³ FAO

⁴ Khajoyenezhad

⁵ Jaleel

⁶ Abhari and Galeshi

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی کیفیت بذر و ویژگی‌های جوانه‌زنی بذرهای سویا رقم کوثر حاصل از گیاهان رشد یافته تحت شرایط تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری، در سال ۱۳۹۷ در سه تکرار در آزمایشگاه کشاورزی دانشگاه پیام نور ارومیه انجام گرفت. برای آزمایش حاضر، از بذرهای آزمایش مزرعه‌ای اجرا شده در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی هنرستان کشاورزی ارومیه به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، استفاده گردید. در آزمایش مزرعه‌ای، عامل اصلی تنش خشکی شامل آبیاری مطلوب (آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر)، تنش ملایم خشکی (آبیاری بعد از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر) و تنش شدید خشکی (آبیاری بعد از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و عوامل فرعی قارچ میکوریزا در سه سطح شامل بدون میکوریزا و تلقیح با گونه گلوموس موسه^۹ و گلوموس اینترادیسز^{۱۰} و باکتری رایزوبیوم در دو سطح شامل عدم تلقیح و تلقیح با رایزوبیوم جاپونیکوم^{۱۱}، حاوی $10^7 \times 1/2$ باکتری در هر گرم بودند. قارچ‌های میکوریزا از شرکت تحقیقاتی زیست‌فناوری توران شاهرود تهیه شد و در زیر میکروسکوپ اسپوره‌های موجود بررسی گردیده و به صورت مخلوطی از اسپور (۲۰ اسپور در هر گرم مایه تلقیح)، هیف و قطعات جدا شده ریشه‌های آلوده به عنوان تلقیح کننده بودند و در تیمارهای مربوطه در هر چاله ۱۰ گرم قارچ ریخته شد و سپس روی قارچ با خاک به اندازه دو سانتی‌متر پوشش داده شد. بذرهای کشت شدند و مجدداً روی بذرهای حدود سه سانتی‌متر با خاک پوشانده شد. باکتری مربوط به سویا از شرکت مهر آسیای استان تهران تهیه شد. بذرهای حاصل از آزمایش مزرعه‌ای ابتدا با محلول هیپوکلریت سدیم پنج درصد به مدت ۳۰ ثانیه (جاوید^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۱) ضدعفونی و سپس چندین مرتبه با آب مقطر شستشو و هوا خشک شدند. پتری‌ها به مدت ۲ ساعت در داخل اتوکلاو با دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس ضدعفونی شدند. در داخل

گیاهان میزبان خود می‌شوند (اسمیت و رید^۱، ۲۰۰۸). امروزه مشخص شده است که قارچ‌های میکوریزایی به‌صورت مستقیم همانند بهبود تغذیه گیاهان از طریق جذب عناصر غذایی و همچنین افزایش جذب آب توسط گیاه و غیر مستقیم همانند کاهش تنش‌های زیستی (بیماری‌های گیاهی) و غیر زیستی (شوری، خشکی، فلزات سنگین و غیره) سبب افزایش رشد گیاه میزبان می‌شوند (فنگ^۲ و همکاران، ۲۰۰۲). سرعت جوانه‌زنی یکی از قدیمی‌ترین و مهمترین شاخص‌های قدرت بذر است (اکرم قادری^۳ و همکاران، ۲۰۰۸).

عمده باکتری‌های محرک رشد گیاه که استفاده از آنها در تحقیقات سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته به جنس‌های آزوسپیریلیوم، ازتوباکتر، سدوموناس و ریزوبیوم مربوط می‌باشند (یساری و پتواردهان^۴، ۲۰۰۷). گونه رایزوبیومی که میزبان اختصاصی گیاه سویا است *برادی رایزوبیوم جاپونیکوم* نام دارد (خلدبرین و اسلام-زاده^۵، ۲۰۰۵). برهمکنش‌های بین گیاهان و باکتری‌های مفید نشان داده است که این باکتری‌ها با سازوکارهای مختلف در برابر تنش‌های محدود کننده محیطی، از گیاهان محافظت می‌کنند. یکی از این سازوکارها تغییر در مورفولوژی ریشه است که هورمون‌های گیاهی به‌ویژه IAA نقش مهمی در این فرآیند دارند (پوترز^۶ و همکاران، ۲۰۰۷). در گزارشی پیشنهاد شده است که برای تولید بذر یونجه با بنیه بالا، استفاده از باکتری تسهیل کننده جذب فسفر می‌تواند در زراعت این گیاه نتایج مطلوب‌تری ایجاد نماید (حبیبی^۷ و همکاران، ۲۰۱۵). تلقیح سویا با سودوموناس و رایزوبیوم ژاپونیکوم جوانه‌زنی و ایستادگی گیاهچه را بهبود بخشید (زیدی^۸، ۲۰۰۳). این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی، میکوریزا و باکتری روی گیاه مادری بر قدرت بذر تولیدی و صفات مرتبط با آن روی سویا رقم کوثر انجام گرفت.

¹ Smith and Read

² Feng

³ Akram Ghaderi

⁴ Yasari and Patwardhan

⁵ Khaladbarin and Eslamzadeh

⁶ Potters

⁷ Habibi

⁸ Zaidi

⁹ *Glomus mosseae*

¹⁰ *Glomus intraradices*

¹¹ *Rhizobium japonicum*

¹² Javid

که در آن $\sum Ni$ مساوی مجموع کل بذره‌های جوانه‌زده تا پایان آزمایش است و $\sum Ti$ برابر مجموع زمان بر حسب روز از شروع آزمایش جوانه‌زنی تا پایان آزمایش است.

$$\sum Ti = (1+2+3+... + \text{روز آخر})$$

میانگین مدت جوانه‌زنی

برای محاسبه میانگین مدت جوانه‌زنی^۷ از رابطه ۴ استفاده شد (بولی و بلاک^۸، ۱۹۹۸):

$$\text{رابطه ۴} = \frac{\sum(tx \times nx)}{\sum N} = \text{متوسط زمان جوانه-زنی}$$

t_x = زمان بر حسب روز از شروع آزمایش جوانه‌زنی

n_x = تعداد بذور جوانه‌زده در روز

N = کل بذور جوانه‌زده در پایان آزمایش

وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه

ریشه‌چه و ساقه‌چه، در پایان آزمایش، جداگانه و در دمای ۷۲ درجه سلسیوس در آون به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و وزن خشک آنها از هر تکرار با ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۰۱ گرم توزین گردید. وزن خشک گیاهچه، از مجموع وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه بدست آمد.

طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

از هر تیمار ۵ نمونه انتخاب و طول ساقه‌چه، از یقه تا جوانه انتهایی و طول ریشه‌چه از یقه تا نوک ریشه‌چه اصلی بر حسب سانتی‌متر با خطکش اندازه‌گیری و سپس از آنها میانگین گرفته شد.

سرعت جوانه‌زنی

برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی^۹ از رابطه ۵ استفاده شد (مگوتیر^{۱۰}، ۱۹۶۲):

$$\text{رابطه ۵} = \sum \frac{Ni}{Ti} = \text{سرعت جوانه‌زنی}$$

هر پتری دیش تعداد ۲۵ عدد بذر ضدعفونی شده با قارچ کش ویتاواکس در بین دو کاغذ صافی قرار داده شد. در طول اجرای آزمایش در داخل آنکوباتور و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی کشت و نگهداری شدند. پس از ۲۴ ساعت بذره‌های جوانه زده به طور روزانه شمارش شدند و ۱۴ روز پس از شروع آزمایش صفات مورد مطالعه اندازه‌گیری شد (ایستا، ۲۰۱۵).

درصد جوانه‌زنی

بذره‌هایی جوانه‌زده تلقی شدند که طول ریشه‌چه آنها دو میلی‌متر یا بیشتر بود (جاوید و همکاران، ۲۰۱۱؛ ایستا، ۲۰۱۵). درصد جوانه‌زنی از رابطه ۱ محاسبه گردید (شمس‌الدین سعید^۲ و همکاران، ۲۰۰۷):

$$\text{رابطه ۱} \quad \%G = \frac{n}{N} \times 100$$

که در آن G درصد جوانه‌زنی، n تعداد نهایی بذره‌های جوانه‌زده و N تعداد بذره‌های کشت شده است.

ضریب سرعت جوانه‌زنی

برای محاسبه ضریب سرعت جوانه‌زنی^۳ از رابطه ۲ استفاده شد (کوئوسکی^۴، ۱۹۲۶):

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{ضریب سرعت جوانه‌زنی} = \frac{\sum n}{\sum (t \times n)} \times 100$$

که در آن n تعداد بذوری است که جدیداً در زمان t جوانه‌زده‌اند و t روز بعد از کاشت است.

شاخص میزان جوانه‌زنی

برای محاسبه شاخص میزان جوانه‌زنی^۵ از رابطه ۳ استفاده شد (ترونه بری و اسمیت^۶، ۱۹۵۵):

$$\text{رابطه ۳} \quad \text{شاخص میزان جوانه‌زنی} = \frac{\sum_{i=1}^c Ni}{\sum_{i=1}^c Ti}$$

جوانه‌زنی

¹ ISTA

² Shamsadin Saeid

³ Coefficient of Velocity of Germination

⁴ Kotowski

⁵ Rate Index of Germination

⁶ Throneberry and Smith

⁷ Mean Time of Germination

⁸ Bewley and Black

⁹ Speed of Germination

¹⁰ Maguire

الکتریکی مواد نشت یافته از بذرها با استفاده از رابطه ۹ تعیین شد جهت تعیین هدایت الکتریکی بذرها از دستگاه E_c متر مدل Microprocessor Conductivity Meter LF 196 ساخت آلمان غربی استفاده شد:

رابطه ۹

عدد خوانده شده از دستگاه E_c متر = هدایت الکتریکی محلول وزن خشک 50 بذر (میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم)

شاخص طولی بنیه گیاهچه

شاخص طولی بنیه گیاهچه از رابطه ۱۰ محاسبه شد (مصطفوی^۹، ۲۰۱۱):

رابطه ۱۰

درصد جوانه‌زنی × طول گیاهچه (سانتی‌متر) = شاخص ویگور بذر

شاخص وزنی بنیه گیاهچه

شاخص وزنی بنیه گیاهچه از رابطه ۱۱ محاسبه شد (مصطفوی، ۲۰۱۱):

رابطه ۱۱: درصد جوانه‌زنی × وزن خشک گیاهچه = شاخص وزنی بنیه گیاهچه

شاخص تحمل ریشه

شاخص تحمل ریشه از رابطه ۱۲ محاسبه شد (کریمی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۱):

رابطه ۱۲: طول ریشه تیمار شاهد / طول ریشه تیمار تحت تنش = شاخص تحمل ریشه

شاخص تحمل ساقه

شاخص تحمل ساقه از رابطه ۱۳ محاسبه شد (کریمی و همکاران، ۲۰۱۱):

رابطه ۱۳:

طول ساقه شاهد / طول ساقه تنش = شاخص تحمل ساقه

میانگین سرعت جوانه‌زنی

برای محاسبه میانگین سرعت جوانه‌زنی^۱ از رابطه ۶ استفاده گردید (تاجبخش و قیاسی^۲، ۲۰۰۸):

رابطه ۶
$$\text{میانگین مدت جوانه زنی} = \frac{1}{\text{میانگین سرعت جوانه زنی}}$$

شاخص مقاومت به خشکی

برای محاسبه شاخص مقاومت به خشکی^۳ طبق رابطه ۷ عمل شد (سופا^۴ و همکاران، ۱۹۹۱):

رابطه ۷
$$\text{شاخص مقاومت به خشکی} = \frac{TWSS}{TWSC} \times 100$$

که در این رابطه $TWSS$ و $TWSC$ به ترتیب وزن خشک ساقه‌چه‌های تحت تنش و وزن خشک ساقه‌چه‌های شاهد است.

شاخص سرعت جوانه‌زنی

برای محاسبه شاخص سرعت جوانه‌زنی^۵ از رابطه ۸ استفاده گردید (مارومیکال و لیکاندرو^۶، ۲۰۰۲):

رابطه ۸
$$\text{شاخص سرعت جوانه زنی} = \frac{G_2}{2} + \frac{G_3}{3} + \frac{G_4}{4} + \frac{G_5}{5} + \frac{G_6}{6}$$

که G_2 ، G_3 ، G_4 و G_6 به ترتیب تعداد بذر جوانه‌زده در ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ روز پس از جوانه‌زنی است.

هدایت الکتریکی

با انجام آزمون هدایت الکتریکی^۷ نیز میزان نشت مواد از بذرها و درجه فرسودگی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت (ایستا^۸، ۲۰۱۲). برای این منظور از هر نمونه بذری، ۵۰ بذر بطور تصادفی جدا شده و پس از توزین، در ارلن‌های محتوی آب مقطر که قبلاً به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شده بودند ریخته شد. پس از ۲۴ ساعت دیگر، هدایت

¹ Mean Rate of Germination

² Tajbakhsh and Ghiyasi

³ Stress Tolerance Index

⁴ Sopha

⁵ Germination Rate Index

⁶ Mauromicale and Licandro

⁷ Electrical Conductivity

⁸ ISTA

⁹ Mostafavi

¹⁰ Karimi

شاخص پایداری غشا

شاخص پایداری غشا براساس میزان هدایت الکتریکی حاصل از نشت یون ها از سلول‌های برگ به درون آب دیونیزه اندازه‌گیری شد. همچنین، نمونه‌هایی به وزن ۰/۱ گرم از برگ‌های تازه و تر تهیه و در لوله‌های آزمایش محتوی ۲۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه غوطه‌ور شد. سپس، یکسری از نمونه‌ها در دمای ۴۰ درجهٔ سلسیوس و سری دیگر در دمای ۱۰۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شد. هدایت الکتریکی نمونه‌ها بعد از رسیدن به دمای اتاق با استفاده از دستگاه هدایت سنج اندازه‌گیری و ثبت شد. شاخص پایداری غشا براساس رابطهٔ ۱۴ محاسبه شد (عزیزپور^۱ و همکاران، ۲۰۱۰):

$$\text{شاخص پایداری غشا} = \left[1 - \frac{C_1}{C_2} \right] \times 100$$

در رابطهٔ فوق C1 و C2 به ترتیب نشان‌دهندهٔ میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها در دمای ۴۰ و ۱۰۰ درجهٔ سلسیوس است.

درصد آب بافت گیاهچه از تفاضل وزن تر و خشک گیاهچه تقسیم بر وزن تر گیاهچه ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد (فلاح شمسی^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). برای محاسبه ضرب آومتری نیز وزن خشک ریشه‌چه به وزن خشک ساقه‌چه تقسیم گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای داده‌هایی که از طریق درصد بدست آمده بودند (مانند درصد جوانه‌زنی) با استفاده از نرم افزار SPSS تبدیل زاویه‌ای ($\arcsin\sqrt{\%}$) به عمل آمد و سپس مقایسه میانگین انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار رایانه‌ای SAS، MSTATC و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون توکی در سطح ۵ درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر آبیاری، میکوریزا و باکتری بر طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه

معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین طول ریشه‌چه، در شرایط آبیاری مطلوب و همچنین در شرایط تلقیح با قارچ میکوریزا و تلقیح با باکتری ریزوبیوم بدست آمد (جدول ۲ و ۴). بیشترین طول ساقه‌چه در شرایط آبیاری مطلوب، تلقیح با قارچ میکوریزا و تلقیح با باکتری ریزوبیوم بدست آمد (جدول ۲). تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه را به ترتیب به میزان ۲۷ و ۱۷، ۲۸ و ۱۷ و ۲۸ درصد کاهش داد. سایر محققان نیز نشان دادند بیشترین طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه در شرایط آبیاری مطلوب در کلزا بدست آمد (بادروچ^۳ و همکاران، ۲۰۱۶). برهمکنش میکوریزا و باکتری نشان داد بین تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزا تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد تلقیح با قارچ میکوریزا گونه موسه‌آ و اینترادیسز در مقایسه با عدم تلقیح قارچ، صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه به ترتیب به میزان ۲۷ و ۲۶، ۴۱ و ۳۷ و ۳۵ و ۳۳ درصد افزایش یافت. تلقیح با باکتری ریزوبیومی در مقایسه با عدم تلقیح باکتری نیز صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه را به ترتیب به میزان ۲۱، ۱۶ و ۱۸ درصد افزایش داد (جدول ۲).

وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه و وزن تر

گیاهچه

مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارها نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه در شرایط آبیاری مطلوب، تلقیح با قارچ میکوریزا و تلقیح با باکتری ریزوبیوم به دست آمد (جدول ۲ و ۳). تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه را به ترتیب به میزان ۳۲ و ۱۶، ۴۰ و ۲۲ و ۳۹ و ۲۱ درصد کاهش داد. تلقیح با قارچ میکوریزا گونه موسه‌آ و اینترادیسز در مقایسه با عدم تلقیح قارچ، وزن خشک ساقه‌چه به میزان ۴۷ و ۴۲ درصد افزایش یافت. بیشترین وزن خشک ریشه‌چه (۰/۳۷۵ گرم) و گیاهچه (۱/۷۹ گرم) از تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا گونه موسه‌آ در شرایط آبیاری مطلوب بدست آمد (جدول ۳).

¹ Azizpour

² Fallah-Shamsi

³ Badrooj

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات مختلف سویا در شرایط تلقیح و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری در شرایط مختلف آبیاری
Table 1. Analysis of variance for different traits of soybean inoculated and non-inoculated with mycorrhizal fungi and bacteria under different irrigation conditions

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares										شاخص پایداری غشا Membrane stability index	درصد جوانه‌زنی Germination percentage
		طول ریشه‌چه Radicule length	طول ریشه‌چه Plumule length	طول ریشه‌چه Seedling length	وزن خشک ریشه‌چه Radicule dry weight	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	طول ریشه‌چه Radicule length to plumule length	ضریب آلومتر Allometric coefficient	هدایت الکتریکی Electrical conductivity		
(Block)	2	47.94**	6.21*	87.83**	0.016**	0.027 ns	1.36 ns	0.05 ns	0.36**	0.026**	529.69**	5.97 ns	0.080**
آبیاری Irrigation	2	21.46**	49.66**	136.39**	0.033**	1.14**	344.49**	1.57**	0.00061 ns	0.008 ns	1264.46**	1135.08**	0.21**
خطای اصلی (Ea)	4	0.79	2.14	3.72	0.001	0.017	1.57	0.0095	0.013	0.0065	25.73	20.24	0.0013
قارچ میکوریزا Mycorrhizal fungus	2	23.26**	124.44**	254.60**	0.123**	1.68**	371.89**	2.71**	0.14**	0.001 ns	255.69**	1023.64**	0.21**
باکتری Bacterium	1	32.26**	40.68**	145.40**	0.064**	1.17**	279.07**	1.79**	0.01 ns	0.008 ns	1798.04**	1810.06**	0.30**
آبیاری × میکوریزا Irrigation × mycorrhizal	4	1.50 ns	4.20 ns	10.40*	0.024**	0.035 ns	10.79**	0.07*	0.009 ns	0.030**	107.82 ns	90.46 ns	0.024 ns
آبیاری × باکتری Irrigation × bacterium	2	2.33 ns	0.59 ns	4.08 ns	0.0008 ns	0.0443 ns	24.72**	0.034 ns	0.016 ns	0.004 ns	1.44 ns	76.21 ns	0.0001 ns
میکوریزا × باکتری Mycorrhizal × bacterium	2	4.11*	0.53 ns	7.60 ns	0.0042 ns	0.048 ns	15.14**	0.041 ns	0.044*	0.018**	142.51*	50.10 ns	0.012 ns
آبیاری × میکوریزا × باکتری Irrigation × mycorrhizal × bacterium	4	0.74 ns	1.08 ns	2.90 ns	0.0018 ns	0.0069 ns	1.69 ns	0.010 ns	0.008 ns	0.006 ns	12.56 ns	21.20 ns	0.003 ns
خطای فرمی Eb	30	1.10	1.97	4.01	0.0014	0.019	2.20	0.020	0.0125	0.0032	43.19	43.23	0.010
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	-	15.57	13.94	11.91	17.07	14.06	14.08	11.93	16.43	24.30	8.32	9.22	9.66

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 ad 1% probability levels, respectively.

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 ad 1% probability levels, respectively.

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 ad 1% probability levels, respectively.

Table 1. Continuous

Source of variations	درجه آزادی	شاخص سرعت جوانه‌زنی Germination rate index	میان جوانه‌زنی Germination amount index	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	ضریب سرعت جوانه‌زنی Coefficient of velocity of germination	میانگین مدت جوانه‌زنی Mean germination time	شاخص مقاومت به خشکی Stress tolerance index	شاخص تحمل ریشه Root tolerance index	شاخص تحمل ساقه Stem tolerance index	شاخص وزنی بینه گیاهچه Seedling vigor weight index	شاخص طولی بینه گیاهچه Seedling vigor length index	درصد آب بافت گیاهچه percentage of seedling tissue	میانگین مربعات Mean squares		
													13.23	18.06	12.30
(Block) بلوک	2	61.52 **	0.078 *	4.08 **	0.0012 **	0.15 *	371.41 *	0.036 ns	0.021 ns	1637.81 **	1015596.87 **	2.63 **			
آبیاری Irrigation	2	222.42 **	0.203 **	12.50 **	0.027 **	4.27 **	8116.65 **	0.61 **	0.40 **	19025.40 **	2063816.31 **	74.59 **			
خطای اصلی (Ea) قارچ میکوریزا Mycorrhizal fungus	4	4.66	0.0063	0.64	0.0051	0.082	99.27	0.014	0.019	51.75	12040.61	0.38			
بakteri Bacterium	2	240.19 **	0.25 **	16.46 **	0.005 **	0.87 **	2222.50 **	0.036 ns	0.20 **	26401.44 **	3026737.26 **	67.03 **			
آبیاری × میکوریزا Irrigation × mycorrhizal	1	194.86 **	0.20 **	9.27 **	0.010 **	1.58 **	19.63 ns	0.093 ns	0.035 ns	23567.68 **	2629159.48 **	29.76 **			
آبیاری × باکتری Irrigation × bacterium	4	13.59 ns	0.01 ns	0.083 ns	0.006 ns	0.14 **	638.17 **	0.010 ns	0.060 **	950.58 *	121915.48 ns	0.60 ns			
میکوریزا × باکتری Mycorrhizal × bacterium	2	3.18 ns	0.013 ns	0.35 ns	0.00027 ns	0.06 ns	106.67 ns	0.035 ns	0.008 ns	613.61 ns	2564.15 ns	0.42 ns			
آبیاری × میکوریزا × باکتری Irrigation × mycorrhizal × bacterium	2	3.82 ns	0.024 ns	0.17 ns	0.00027 ns	0.04 ns	103.03 ns	0.015 ns	0.015 ns	886.86 ns	134607.37 ns	0.66 ns			
خطای فرعی E _b	4	3.74 ns	0.0012 ns	0.10 ns	0.00020 ns	0.02 ns	62.54 ns	0.005 ns	0.006 ns	76.31 ns	23401.15 ns	0.11 ns			
خطای فرعی E _b	30	11.55	0.023	0.64	0.00026	0.037	103.15	0.025	0.0098	306.51	55598.09	0.253			
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation	-	13.23	18.06	12.30	5.51	5.55	12.98	19.59	11.79	18.28	18.01	0.57			

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively. ns و * و ** به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و غیر معنی‌دار.

جدول ۱. ادامه

جدول ۲. مقایسه میانگین اثرات آبیاری، میکوریزا و باکتری برای صفات مورد مطالعه سویا

Table 2. Mean comparisons of effects of irrigation, mycorrhiza and bacterium on the studied traits

تیمار Treatment	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Plumule length (cm)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length (cm)	وزن خشک ریشه‌چه (گرم) Radicle dry weight (g)	وزن خشک ساقه‌چه (گرم) Plumule dry weight (g)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight (g)	هدایت الکتریکی ($\mu\text{S}/\text{cm}$) Electrical conductivity	شاخص پایداری غشا Membrane stability index	درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)
آبیاری مطلوب Optimum irrigation	7.89 a	11.81 a	-	-	1.24 a	-	71.11 c	79.09 a	82.38 a
تنش ملایم خشکی Moderate drought stress	6.58 b	9.90 b	-	-	0.96 b	-	78.02 b	71.56 b	75.88 b
تنش شدید خشکی Severe drought stress	5.72 b	8.50 b	-	-	0.74 c	-	87.79 a	63.22 c	64.66 c
میکوریزا Mycorrhizal	-	-	-	-	-	-	-	-	-
تلقیح با موسه <i>Glomus mosseae</i>	-	11.93 a	-	-	1.21 a	-	-	77.72 a	81.66 a
تلقیح با اینترادیسز <i>Glomus intraradices</i>	-	11.21 a	-	-	1.10 b	-	-	73.16 a	76.55 a
عدم تلقیح با قارچ Mycorrhiza-free	-	7.06 b	-	-	0.64 c	-	-	62.99 b	64.72 b
باکتری Bacterium	-	-	-	-	-	-	-	-	-
تلقیح با باکتری <i>Rhizobium japonicum</i>	-	10.94 a	18.45 a	0.25 a	1.13 a	1.39 a	-	77.08 a	80.48 a
عدم تلقیح با باکتری Bacterium-free	-	9.20 b	15.17 b	0.19 b	0.83 b	1.02 b	-	65.50 b	68.14 b

اعدادی که در هر ستون حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون توکی ندارند.
Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on tukey test.

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continuous.

Treatment	شاخص سرعت جوانه‌زنی (درصد)	شاخص میزان جوانه‌زنی (درصد)	سرعت جوانه‌زنی (بر روز)	ضریب سرعت جوانه‌زنی (درصد)	میانگین مدت جوانه‌زنی (روز)	شاخص تحمل ریشه	شاخص وزنی بینه گیاهچه	شاخص طولی بینه گیاهچه	درصد آب بافت گیاهچه
	Germination rate index (%)	Germination amount index (%)	Germination rate (1/day)	Coefficient of velocity of germination (%)	Mean germination time (day)	Root tolerance index	Seedling vigor weight index	Seedling vigor length index	Water percentage of seedling tissue
آبیاری									
Irrigation									
آبیاری مطلوب									
Optimum irrigation	29.00 a	0.92 a	7.30 a	0.32 a	-	1.00 a	-	1651.3 a	89.33 a
Moderate drought stress	26.08 b	0.89 a	6.67 a	0.30 b	-	0.82 b	-	1300.5 b	86.95 b
Severe drought stress	22.00 c	0.72 b	5.65 b	0.25 c	-	0.62 c	-	974.2 c	85.27 c
میکوریزا									
Mycorrhizal									
تلقیح با موسسما									
<i>Glomus mosseae</i>	27.88 a	0.95 a	7.61 a	0.31 a	-	-	-	1618.1 a	88.75 a
تلقیح با اینترادایمیز	27.72 a	0.86 a	6.23 b	0.29 b	-	-	-	1464.3 a	87.77 b
<i>Glomus intraradices</i>									
عدم تلقیح با قارچ									
Mycorrhiza-free	21.48 b	0.72 b	5.78 b	0.27 c	-	-	-	843.5 b	85.03 c
باکتری									
Bacterium									
تلقیح با باکتری									
<i>Rhizobium japonicum</i>	27.59 a	0.90 a	6.95 a	0.30 a	3.29 b	-	116.64 a	1529.31 a	87.93 a
عدم تلقیح با باکتری	23.79 b	0.78 b	6.13 b	0.28 b	3.64 a	-	74.85 b	1088.00 b	86.44 b
Bacterium-free									

اعضای که در هر ستون حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون توکی ندارند.
Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on tukey test.

نیز نشان داد که بیشترین (۰/۶۰) و کمترین (۰/۲۵) نسبت وزن ریشه به وزن ساقه به ترتیب در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی حاصل شد (ریاض و همکاران، ۲۰۱۳) که با یافته‌های ما در این تحقیق مغایرت داشت. در مطالعه تاتاری^۷ و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شد که نسبت وزن ریشه به وزن اندام‌های هوایی در شرایط تنش خشکی بیشتر از آبیاری مطلوب بود که با نتایج ما در این تحقیق مطابقت داشت.

هدایت الکتریکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر اثرات ساده آبیاری، میکوریزا، باکتری و برهمکنش میکوریزا با باکتری بر هدایت الکتریکی بذر معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر ساده آبیاری نشان داد بیشترین هدایت الکتریکی بذر در شرایط تنش خشکی شدید بدست آمد (جدول ۲). تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، هدایت الکتریکی بذر را به ترتیب به میزان ۱۹ و ۹ درصد افزایش داد. برهمکنش میکوریزا و باکتری نشان داد بیشترین میزان هدایت الکتریکی در شرایط عدم تلقیح با قارچ میکوریزا و عدم تلقیح با باکتری ریزوبیوم بدست آمد و کمترین میزان آن در شرایط تلقیح با قارچ میکوریزا و تلقیح با باکتری ریزوبیوم حاصل شد (جدول ۴). بیان شده است تخریب غشای سلولی می‌تواند به عنوان یک معیار مناسب جهت بررسی واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی مورد بررسی قرار گیرد زیرا افزایش نشت پذیری غشای سلولی تحت تأثیر تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری منجر به کاهش تورژسانس سلول‌ها و اختلال در فرآیندهای آنزیمی دخیل در رشد گیاهچه شده که در نهایت منجر به کاهش رشد گیاهچه‌ها می‌گردد (مونز^۸، ۲۰۰۲).

کمترین وزن خشک ریشه‌چه (۰/۱۰۳ گرم) و گیاهچه (۰/۴۵ گرم) از تیمار عدم تلقیح با قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی شدید بدست آمد (جدول ۳). تلقیح با باکتری ریزوبیومی در مقایسه با عدم تلقیح باکتری نیز صفات وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه را به ترتیب به میزان ۲۴، ۲۶ و ۲۷ درصد افزایش داد (جدول ۲ و ۳). تلقیح با قارچ گونه موسه^۹ و باکتری در مقایسه با عدم تلقیح با قارچ و باکتری، وزن تر گیاهچه را به میزان ۶۳ درصد بهبود بخشید (جدول ۴). در تمام سطوح آبیاری، تلقیح با باکتری وزن تر گیاهچه را به طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۵). خدامزاده^۱ (۲۰۰۷) به این نتیجه رسید که اعمال تنش خشکی بر گیاه مادری، وزن خشک گیاهچه بذرهای حاصل از تنش خشکی را به میزان قابل توجهی کاهش داد. نتایج این تحقیق با گزارش ارائه شده همخوانی داشت. محققان گزارش کردند ازتوباکتر و ترکیب ازتوباکتر و آزوسپریلیوم به طور معنی‌داری باعث افزایش وزن تر گیاهچه گردید به نظر می‌رسد احتمالاً باکتری‌های محرک رشد با تولید هورمون‌های گیاهی (معمدنژاد^۲ و همکاران، ۲۰۱۶)، باعث افزایش تعداد سلول و طول شدن سلول‌ها می‌گردد نتیجه این عمل سبب افزایش جذب آب، بهبود رشد و افزایش وزن تر گیاهچه می‌شود (نستری نصرآبادی^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). گزارش شده است که تلقیح بذور نخود با ریزوبیوم و سودوموناس^۴ فلورستنس منجر به افزایش وزن خشک گیاه و عملکرد نسبت به تیمار شاهد شد (بهامین^۵ و همکاران، ۲۰۱۱).

ضریب آلومتري

بیشترین ضریب آلومتري (۰/۳۲۱) در شرایط تنش خشکی شدید و تلقیح با قارچ میکوریزا گونه اینترارادیسز بدست آمد (جدول ۳). تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، ضریب آلومتري را به ترتیب به میزان ۱۷ و ۸ درصد افزایش داد. نتایج سایر مطالعات

¹ Khoddamzadeh

² Motamednejad

³ Nastari Nasrabadi

⁴ Pseudomonas

⁵ Bahamin

⁶ Riaz

⁷ Tatari

⁸ Munns

Table 3. Mean comparisons of interaction of irrigation and mycorrhiza on the studied traits

آبیاری	میکوریزا	Seedling length (cm)	وزن خشک ریشه‌چه (گرم)	وزن تر گیاهچه (گرم)	وزن خشک گیاهچه (گرم)	ضریب ضریب آلومتر	میانگین مدت جوانه‌زنی (روز)	شاخص مقاومت به خشکی	شاخص تحمل ساقه	شاخص وزنی بنیه گیاهچه
آبیاری مطلوب	تلفیح با موسما	21.82 a	0.375 a	20.04 a	1.79 a	0.271 abc	2.86 e	100.00 a	1.00 a	167.85 a
	<i>Glomus mosseae</i>									
	تلفیح با اینتراادیسز	20.44 ab	0.265 bc	16.60 b	1.59 a	0.203 bcd	3.13 cde	100.00 a	1.00 a	130.70 b
	<i>Glomus intraradices</i>									
	عدم تلفیح با قارچ	16.87 b	0.163 de	9.09 c	1.15 b	0.170 cd	3.18 cde	100.00 a	1.00 a	87.15 c
	<i>Mycorrhiza-free</i>									
تنش ملایم خشکی	تلفیح با موسما	19.56 ab	0.326 ab	14.14 b	1.59 a	0.256 a-d	3.09 de	90.64 ab	0.91 ab	134.08 ab
	<i>Glomus mosseae</i>									
	تلفیح با اینتراادیسز	18.03 ab	0.220 cd	10.59 e	1.27 b	0.216 bcd	3.44 bcd	79.24 bc	0.88 ab	105.34 bc
	<i>Glomus intraradices</i>									
	عدم تلفیح با قارچ	11.85 c	0.128 e	4.62 d	0.71 c	0.228 a-d	3.48 bc	61.13 c	0.67 cd	45.92 de
	<i>Mycorrhiza-free</i>									
تنش شدید خشکی	تلفیح با موسما	16.67 b	0.166 de	8.73 c	1.13 b	0.160 d	3.80 b	69.02 c	0.78 bc	79.22 cd
	<i>Glomus mosseae</i>									
	تلفیح با اینتراادیسز	17.29 b	0.275 bc	8.28 c	1.18 b	0.321 a	3.81 b	68.08 c	0.84 abc	85.39 c
	<i>Glomus intraradices</i>									
	عدم تلفیح با قارچ	8.74 c	0.103 e	2.77 d	0.45 c	0.259 ab	4.40 a	35.62 d	0.48 d	26.05 e
	<i>Mycorrhiza-free</i>									

Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on tukey test.

اطلاعاتی که در هر ستون حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون توکی ندارند.

جدول ۳. مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و میکوریزا برای صفات مورد مطالعه سبوسا

جدول ۴. مقایسه میانگین برهمکنش میکوریزا و باکتری برای ضریب آلومتری سویا

Table 4. Mean comparisons of interaction of mycorrhizal and bacterium on allometric coefficient

میکوریزا Mycorrhizal	باکتری Bacterium	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	وزن تر گیاهچه (گرم) Seedling fresh weight (g)	نسبت طول ریشه‌چه به طول ساقه‌چه Radicle length to plumule length	ضریب آلومتری Allometric coefficient	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
تلقیح با موسه‌آ <i>Glomus mosseae</i>	تلقیح با باکتری <i>Rhizobium japonicum</i>	8.26 a	16.90 a	0.64 b	0.251 a	66.31 c
	عدم تلقیح با باکتری Bacterium-free	6.57 b	11.72 b	0.58 b	0.207 a	83.15 ab
تلقیح با اینترارادیسز <i>Glomus intraradices</i>	تلقیح با باکتری <i>Rhizobium japonicum</i>	8.58 a	14.82 a	0.70 ab	0.214 a	77.45 b
	عدم تلقیح با باکتری Bacterium-free	6.15 b	8.84 c	0.59 b	0.280 a	83.08 ab
عدم تلقیح با قارچ Mycorrhiza-free	تلقیح با باکتری <i>Rhizobium japonicum</i>	5.68 b	6.73 c	0.74 ab	0.254 a	75.85 b
	عدم تلقیح با باکتری Bacterium-free	5.16 b	4.25 d	0.82 a	0.207 a	88.01 a

اعدادی که در هر ستون حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون توکی ندارند.

Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on tukey test.

جدول ۵. مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و باکتری برای وزن تر گیاهچه سویا

Table 5. Mean comparisons of interaction of irrigation and bacterium on seedling fresh weight

آبیاری Irrigation	باکتری Bacterium	وزن تر گیاهچه (گرم) Seedling fresh weight (g)
آبیاری مطلوب Optimum irrigation	تلقیح با باکتری <i>Rhizobium japonicum</i>	18.86 a
	عدم تلقیح با باکتری Bacterium-free	11.63 b
تنش ملایم خشکی Moderate drought stress	تلقیح با باکتری <i>Rhizobium japonicum</i>	11.54 b
	عدم تلقیح با باکتری Bacterium-free	80.03 c
تنش شدید خشکی Severe drought stress	تلقیح با باکتری <i>Rhizobium japonicum</i>	8.05 c
	عدم تلقیح با باکتری Bacterium-free	5.14 d

اعدادی که در هر ستون حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون توکی ندارند.

Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on tukey test.

شاخص پایداری غشا

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر آبیاری، میکوریزا و باکتری بر شاخص پایداری غشا معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارها نشان داد بیشترین شاخص پایداری غشا در شرایط آبیاری مطلوب، تلقیح با قارچ میکوریزا و تلقیح با باکتری ریزوبیوم بدست آمد. بین تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزا از نظر تأثیر بر صفت شاخص پایداری غشا اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، شاخص پایداری غشا را به ترتیب به میزان ۲۰ و ۹ درصد کاهش داد. تلقیح با قارچ میکوریزا گونه موسه‌آ و اینترادیسز در مقایسه با عدم تلقیح قارچ، شاخص پایداری غشا را به ترتیب به میزان ۱۹ و ۱۴ درصد افزایش یافت. تلقیح با باکتری ریزوبیومی در مقایسه با عدم تلقیح باکتری نیز شاخص پایداری غشا را به میزان ۱۵ درصد افزایش داد (جدول ۲). گزارش شده است که تنش خشکی و شوری میانگین مدت جوانه‌زنی و نشت پذیری غشا سلولی انیسون و رازیانه را افزایش داد (فرهودی و رحم‌پور^۱، ۲۰۱۷). با افزایش تنش، میزان تخریب غشا سیتوپلاسمی بیشتر شده و نتیجه آن، افزایش هدایت الکتریکی محلول بوده و تنش خشکی از تکامل دیواره ممانعت کرده و باعث نشت الکترولیت از دیواره سلولی می‌گردد (وانوزی و لارنر^۲، ۲۰۰۷). محققان نشان دادند که در بین کودهای زیستی بیشترین پایداری غشا سیتوپلاسمی (کمترین نشت غشا سیتوپلاسمی) مربوط به تیمار تلقیح سه گانه ریزوبیوم، میکوریز و سودوموناس بوده است (عباسی سیه‌جانی^۳ و همکاران، ۲۰۱۷).

درصد و سرعت جوانه‌زنی

بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی در شرایط آبیاری مطلوب، تلقیح با قارچ میکوریزا و تلقیح با باکتری ریزوبیوم بدست آمد. بین آبیاری مطلوب و تنش خشکی ملایم از نظر صفت درصد و سرعت جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد همچنین بین تلقیح با دو گونه

قارچ میکوریزا از نظر تأثیر بر درصد جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، درصد و سرعت جوانه‌زنی را به ترتیب به میزان ۲۱ و ۸ و ۲۳ و ۹ درصد کاهش داد. تلقیح با قارچ میکوریزا گونه موسه‌آ و اینترادیسز در مقایسه با عدم تلقیح قارچ، درصد و سرعت جوانه‌زنی به ترتیب به میزان ۲۱ و ۱۵ و ۲۴ و ۷ درصد افزایش داد. تلقیح با باکتری ریزوبیومی در مقایسه با عدم تلقیح باکتری نیز درصد و سرعت جوانه‌زنی را به ترتیب به میزان ۱۵ و ۱۲ درصد افزایش داد (جدول ۲). سایر محققان نیز نشان دادند کاربرد باکتری در بذرها یونجه سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی به عنوان صفتی مطلوب در بذرها شده است (تقوایی^۴، ۲۰۰۶). کاهش سرعت جوانه‌زنی در اثر تنش خشکی حاکم بر گیاه مادر و همبستگی مثبت آن با درصد جوانه‌زنی در نتایج عطاردی^۵ و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش شده است. تنش خشکی با اثر بر کاهش وزن دانه منجر به کاهش کیفیت بذر و در نهایت باعث افت درصد جوانه‌زنی شد (ظفری و همکاران، ۲۰۱۷). در این آزمایش سرعت و درصد جوانه‌زنی در بذرها حاصل از شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد، این کاهش، می‌تواند نتیجه تغییرات هورمونی درون بذرها باشد که در راستای جلوگیری از مواجهه مجدد با تنش، جوانه‌زنی بذور را به تعویق می‌اندازد (کوبالای^۶ و همکاران، ۲۰۱۵).

شاخص و ضریب سرعت جوانه‌زنی و شاخص میزان

جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر آبیاری، میکوریزا و باکتری بر شاخص و ضریب سرعت جوانه‌زنی و شاخص میزان جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارها نشان داد بیشترین شاخص و ضریب سرعت جوانه‌زنی و شاخص میزان جوانه‌زنی در شرایط آبیاری مطلوب، تلقیح با قارچ میکوریزا و تلقیح با باکتری ریزوبیوم بدست آمد. بین آبیاری مطلوب و تنش خشکی ملایم از نظر صفت

⁴ Taghvayee

⁵ Atarodi

⁶ Zafari

⁷ Kubalaa

¹ Farhoudi and Khodarahempour

² Vannozi and Lamer

³ Abbasi Seyahjani

کمک به جذب سایر عناصر مفید از جمله نیتروژن سبب افزایش ذخیره بذر و پیرو آن افزایش ضریب سرعت جوانه‌زنی و کاهش متوسط روزهای مورد نیاز برای جوانه‌زنی بذرهای یونجه شده است (حبیبی و همکاران، ۲۰۱۵).

شاخص مقاومت به خشکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر آبیاری، میکوریزا و برهمکنش آبیاری و میکوریزا بر شاخص مقاومت به خشکی معنی‌دار بود (جدول ۱). برهمکنش آبیاری و میکوریزا نشان داد بیشترین (۱۰۰) مقدار شاخص مقاومت به خشکی در شرایط آبیاری مطلوب و کمترین (۳۵/۶۲) مقدار آن در شرایط تنش خشکی شدید و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا بدست آمد (جدول ۳). در شرایط مختلف آبیاری، تلقیح با قارچ میکوریزا گونه‌های موسه‌آ و اینترادیسز در مقایسه با عدم تلقیح قارچ، شاخص مقاومت به خشکی را افزایش دادند (جدول ۳).

شاخص تحمل ریشه و ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر آبیاری بر شاخص تحمل ریشه معنی‌دار بود. همچنین اثرات ساده آبیاری، میکوریزا و برهمکنش آبیاری در میکوریزا بر شاخص تحمل ساقه معنی‌دار گردید (جدول ۱). تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، شاخص تحمل ریشه و ساقه را به ترتیب به میزان ۳۸ و ۱۸ و ۳۰ و ۱۸ درصد کاهش داد (جدول ۲ و ۳). در شرایط مختلف آبیاری، تلقیح با قارچ میکوریزا گونه موسه‌آ و اینترادیسز در مقایسه با عدم تلقیح قارچ، شاخص تحمل ساقه را افزایش داد (جدول ۳).

شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه

بیشترین شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه در شرایط آبیاری مطلوب، تلقیح با قارچ میکوریزا و تلقیح با باکتری رایزوبیومی حاصل شد. تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه را به ترتیب به میزان ۵۰ و ۲۶ و ۴۱ و ۲۱ درصد کاهش داد (جدول ۳). در شرایط مختلف

شاخص سرعت جوانه‌زنی و شاخص میزان جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بین تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزا از نظر تأثیر بر شاخص سرعت جوانه‌زنی و شاخص میزان جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، شاخص سرعت جوانه‌زنی، شاخص میزان جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی را به ترتیب به میزان ۲۴ و ۱۰، ۲۲ و ۳ و ۲۲ و ۶ درصد کاهش داد. علت کاهش سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی، فرسودگی بذرها قبل از برداشت و همچنین بالا بودن ضریب سرعت جوانه‌زنی است (بادروچ و همکاران، ۲۰۱۶). تلقیح با قارچ میکوریزا گونه موسه‌آ و اینترادیسز در مقایسه با عدم تلقیح قارچ، شاخص سرعت جوانه‌زنی، شاخص میزان جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی به ترتیب به میزان ۲۳ و ۲۲، ۲۴ و ۱۶ و ۱۳ و ۷ درصد افزایش داد. تلقیح با باکتری رایزوبیومی در مقایسه با عدم تلقیح باکتری نیز شاخص سرعت جوانه‌زنی، شاخص میزان جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی را به ترتیب به میزان ۱۴، ۱۳ و ۷ درصد افزایش داد (جدول ۲).

میانگین مدت زمان جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر آبیاری، میکوریزا و باکتری و اثر برهمکنش آبیاری و میکوریزا بر میانگین مدت زمان جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین نشان داد بیشترین میانگین مدت زمان جوانه‌زنی (۴/۴۰ روز) در شرایط تنش خشکی شدید و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا بدست آمد. در تحقیقی گزارش شد تنش خشکی سبب افزایش میانگین مدت زمان جوانه‌زنی شد (افشار، ۲۰۰۷). نتایج این تحقیق با نتایج پژوهشگران یاد شده مطابقت داشت. در شرایط مختلف آبیاری، تلقیح با قارچ میکوریزا گونه موسه‌آ و اینترادیسز در مقایسه با عدم تلقیح قارچ، میانگین مدت جوانه‌زنی را افزایش داد. تلقیح با باکتری رایزوبیومی در مقایسه با عدم تلقیح باکتری نیز میانگین مدت زمان جوانه‌زنی را به میزان ۱۰ درصد کاهش داد (جدول ۲). در نتایج سایر محققان گزارش شده است کاربرد باکتری به علت افزایش حلالیت فسفر و همچنین

میکوریزا گونه موسه‌آ و اینترادیسز در مقایسه با عدم تلقیح قارچ، درصد آب بافت گیاهچه به ترتیب به میزان ۴ و ۲ درصد افزایش داد. تلقیح با باکتری ریزوبیومی در مقایسه با عدم تلقیح باکتری نیز درصد آب بافت گیاهچه را به میزان ۲ درصد افزایش داد (جدول ۲).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد بیشترین طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، شاخص پایداری غشا، درصد جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی، شاخص میزان جوانه‌زنی، شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه و درصد آب بافت گیاهچه از بذور به دست آمده در شرایط آبیاری مطلوب، تلقیح با قارچ‌های میکوریزا و باکتری به دست آمد. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، بذور حاصل از شرایط تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، درصد و سرعت جوانه‌زنی پایین‌تری داشته و کیفیت و قدرت نامطلوبی نشان دادند همچنین تنش خشکی تخریب غشاهای سلولی بذور سویا رقم کوثر را افزایش داد. در شرایط مزرعه تلقیح بذرها با قارچ‌های میکوریزا و باکتری ریزوبیومی باعث بهبود صفات مرتبط با جوانه‌زنی و قدرت بذور سویا گردید.

آبیاری، تلقیح با قارچ میکوریزا گونه موسه‌آ و اینترادیسز در مقایسه با عدم تلقیح قارچ، شاخص وزنی بنیه گیاهچه را افزایش داد (جدول ۳). تلقیح با قارچ میکوریزا گونه موسه‌آ و اینترادیسز در مقایسه با عدم تلقیح قارچ، شاخص طولی بنیه گیاهچه را به ترتیب به میزان ۴۸ و ۴۲ درصد افزایش داد (جدول ۲). تلقیح با باکتری ریزوبیومی در مقایسه با عدم تلقیح باکتری نیز شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه را به ترتیب به میزان ۳۶ و ۲۹ درصد افزایش داد (جدول ۲). سایر محققان نیز گزارش کردند تنش خشکی با کاهش درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه سبب کاهش شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه در سویا شد (بادروج و همکاران، ۲۰۱۶؛ افشار، ۲۰۰۷). تقوایی و علی‌اولاد^۱ (۲۰۱۵) نیز نشان دادند تنش خشکی به طور معنی‌داری طول ساقه‌چه، ریشه‌چه، وزن خشک ساقه، ریشه و گیاه، شاخص ویگور گیاهچه و بذور را کاهش داد. در گزارش دیگری مشخص گردید که باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش شاخص قدرت گیاهچه، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه در برنج می‌شود (ان‌جی، ۲۰۱۲). همچنین گزارش شده است که تلقیح بذور با باکتری ازتوباکتر باعث ظهور سریع‌تر گیاهچه‌های ارقام مختلف پنبه شده است (حفیظ‌آ و همکاران، ۲۰۰۴). در آزمایشی اسید سالیسیلیک و باکتری سبب بهبود رشد و افزایش بنیه بذور گردید که موجب سریع‌تر سبز شدن ساقه‌چه‌ها شد (نستری نصرآبادی و همکاران، ۲۰۱۹).

درصد آب بافت گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر آبیاری، میکوریزا و باکتری بر درصد آب بافت گیاهچه معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارها نشان داد بیشترین درصد آب بافت گیاهچه در شرایط آبیاری مطلوب، تلقیح با قارچ میکوریزا و تلقیح با باکتری ریزوبیوم بدست آمد. تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، درصد آب بافت گیاهچه را به ترتیب به میزان ۴ و ۳ درصد کاهش داد. تلقیح با قارچ

¹ Taghvaei and Aliolad

² Ng

³ Hafeez

منابع

- Abbasi Seyahjani, E., Yarnia, M., Farhvas, F., Khorshidi Benam, M.B. and Asadi Rahmani, H. 2017. Influence of rhizobium, pseudomonas and fungi mycorrhiza on some traits of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(1): 85-102. [In Persian with English Summary].
- Abdoli, M. and Saeidi, M. 2012. Effects of water deficiency stress during seed growth on yield and its components, germination and seedling growth parameters of some wheat cultivars. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(15): 1110-1118.
- Abhari, A. and Galeshi S. 2007. Effects of terminal drought stress on seed vigor of wheat genotypes (*Triticum aestivum*). *Journal of Agriculture Science Natural Resources*, 14(3): 11-20. [In Persian with English Summary].
- Afshar, H. 2007. Investigation of effect of fungi and plant growth promoting rhizobacteria on germination and seed quality traits of soybean stressed plants. M.Sc. thesis of Agronomy. Faculty of agriculture. Zabol University. 156p. [In Persian with English Summary].
- Akram Ghaderi, F., Kamkar, B. and Soltani, A. 2008. *Science and Technology of Seeds*. Publication of University Jahad. Pp.512. [In Persian].
- Atarodi, H., Irannejad, H., Shirani Rad, A.H., Amiri, R. and Akbari, Gh. 2011. Assessment of drought stress and planting date effects applied on original plant, on its seed electrical conductivity rate. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 9(2): 242-247. [In Persian with English Summary].
- Azizpour, K., Shakiba, M., Khosh Kholgh Sima, N., Alyari, H., Moghadam, M., Esfandiari, E. and Pessarakli, M. 2010. Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 33(6): 859-873. <https://doi.org/10.1080/01904161003654097>
- Badrooj, H.R., Hamidi, A. and Shirany Rad, A.H. 2016. Effect of drought stress and normal irrigation during flowering to maturity of 10 spring oilseed rape (*Brassica napus* L.) genotypes seed germination. *Iranian Journal of Seed Research*, 2(2): 1-14. [In Persian with English Summary].
- Bahamin S, Arian-Mehr M, Kardoni F, Mahmodi S and Azar-Peyvand H. 2011. Effects of salinity and increasing the growth of bacteria (*Pseudomonas fluorescens*) on germination and seedling growth characteristics of sunflower. The 1st National Conference on Modern Agricultural Sciences & Technologies. Zanjan. Iran. Pp. 195-198.
- Bewley, J.D. and Black, M. 1998. *Seeds: Physiology of development and germination* second edition. Plenum press New York. 43: 583-591.
- Chachelis, D. and Smith, M.L. 2001. Seed coat regulation of water uptake during imbibition soybean. *Seed Science and Technology*, 29: 401-412.
- Eskandari, J. and Alizadeh-Amraie, A. 2014. Effect of priming on millet (*Panicum miliaceum*) seed germination under drought and salt condition. *Iranian Journal of Seed Research*, 1(1): 46-55. [In Persian with English Summary].
- Fallah-Shamsi, S.R., Pirdashti, M., Ebadi, A., Esfahani, M. and Raeini, M. 2017. Effect of drought stress at reproductive stage on seed germination characteristics of local and improved rice (*Oryza sativa*) genotypes. *Iranian Seed Research*, 4(1): 75-87. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.29252/yujs.4.1.75>
- FAO. 2017. *Fao statistic deviation*, <http://faostat.fao.org>.
- Farhoudi, R. and Khodarahempour, Z. 2017. Effect of salt and drought stresses on germination, seedling growth and cell membrane stability of anise (*Pimpinella anisum*) and fennel (*Foeniculum vulgare*). *Iranian Journal of Seed Research*, 4(1): 103-110. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.29252/yujs.4.1.103>

- Feng, G., Zhang, F.S., Li, X.L., Tian, C.Y., Tang, C. and Rengel, Z. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*, 12(4): 185-190. <https://doi.org/10.1007/s00572-002-0170-0>
- Ghassemi-Golezani, K., Lotfi, R. and Norouzi, M. 2012. Seed quality of soybean cultivars affected by pod position and water stress at reproductive stages. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 3: 119-125.
- Habibi, H., Aghighi Shahverdi, M., Nasiri, Z., Chaichi, M.R. and Fotokian, M.H. 2015. Effect of seed rate and efficiency of pgpr on quality of alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed, using standard germination and accelerated aging tests. *Iranian Journal of Seed Research*, 1(2): 1-15. [In Persian with English Summary].
- Hafeez, F.Y., Safdar, M.E., Chaudry, A.U. and Malik, K.A. 2004. Rhizobial inoculation improves seedling emergence, nutrient uptake and growth of cotton. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44: 617-622. <https://doi.org/10.1071/EA03074>
- Ilieva, V., Mitrev, S., Karov, I., Markova, N. and Todorovska, E. 2013. Seed quality and its importance in agricultural production and safety of agricultural products. In: International Conference "Quality and Competence 2013", 13-15 June 2013, Ohrid, Macedonia.
- ISTA. 2012. Hand Book of Vigour Test Methods.
- ISTA. 2015. International rules for seed testing. The International Seed Testing Association (ISTA), Zurich, Switzerland.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 11(1): 100-105.
- Jalil Shesh Bahre M. and Movahedi Dehnavi M. 2012. Effect of zinc and iron foliar application on soybean seed vigour grown under drought stress. *Electronic Journal of Crop Production*, 5(1): 19-35. [In Persian with English Summary].
- Javid, H., Esfahani, M. and Sabouri, S. 2011. Effect of three threshing methods on kernel fissuring, seed germination and seedling growth in rice (*Oryza sativa* L.) cv. Hashemi. *Seed and Plant Improvement Journal*, 27(1): 57-72. [In Persian with English Summary].
- Karimi, N., Soheilikhah, Z., Ghasempour, H. and Zebarjadi, A. 2011. Effect of salinity stress on germination and early seedling growth of different Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. *Journal of Ecobiotechnology*, 3(10): 07-13.
- Khajoyeenezhad, Gh., Kazemi, H., Alyari, H., Javanshir, A. and Arvin, M.J. 2005. Effect of irrigation regimes and plant density on yield, water use efficiency and seed quality of three soybean cultivars in summer cultivation in Kerman weather conditions. *Agriculture Sciences and Technology and Natural Resources*, 9(4): 137-151. [In Persian with English Summary].
- Khaladbarin, B. and Eslamzadeh T. 2005. Mineral nutrition of higher plants (Translation). Shiraz University Press, Second Edition, 259P. [In Persian].
- Khoddamzadeh, A.A. 2007. Evaluation of ecophysiological effects of drought stress on seed traits and plant in soybean cultivars. M.Sc. thesis of Azad University. Branch of Pishva. 109P. [In Persian with English Summary].
- Kotowski, F. 1926. Temperature relation to germination of vegetable seed. *Proceedings of the Society for Horticultural Science*, 23: 176-184.
- Kubalaa, S., Wojtyla, Ł., Quinet, M., Lechowska, K., Lutts, S. and Garnczarska, M. 2015. Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seed osmopriming improvement of Brassica napus germination under salinity stress. *Journal of Plant Physiology*, 183: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.04.009>

- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination in selection and evaluation for seed vigour. *Crop Science*, 2(2): 176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Mauromicale, G. and Licandro, P. 2002. Salinity and temperature effects on germination, emergence and seedling growth of globe artichoke. *Agronomie*, 22(5): 443-450. <https://doi.org/10.1051/agro:2002011>
- Mesquita, C.M., Hanna, M.A. and Costa, N.P. 2007. Crop and harvesting operation characteristics affecting physiological qualities of soybeans. Part II. *Applied Engineering in Agriculture*, 23(4): 433-438. <https://doi.org/10.13031/2013.23477>
- Mostafavi, K. 2011. An evaluation of Safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) seed germination and seedling characters in salt stress conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 6(7): 1667-1672.
- Motamednejad, M., Eslami, S.V., Sayari, M.H. and Mahmodi, S. 2016. Effect of enrichment with bio fertilizers and three micronutrients of iron, zinc and manganese on germination characteristics of ajowan plant (*Carum copticum* L.). *Journal of Horticultural Science*, 29(4): 564-571. [In Persian with English Summary].
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25: 239-250. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>
- Nastari Nasrabadi, H., Moradi, M. and Modoodi, M.N. 2019. Effect of growth promoting bacteria and salicylic acid on melon (*Cucumis melo*) seed germination and seedling growth under salt stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 5(2): 139-149. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.29252/yujrs.5.2.139>
- Ng, L.C., Sariah, M., Sariam, O., Radziah, O. and Zainal Abidin, M.A. 2012. Rice seed bacterization for promoting germination and seedling growth under aerobic cultivation system. *Australian Journal of Crop Science*, 6(1): 170-175.
- Potters, G., Pasternak, T.P., Guisez, Y., Palme, K.J. and Jansen, M.A.K. 2007. Stress induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends in Plant Science*, 12(3): 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.01.004>
- Riaz, A., Younis, A., Riaz Taj, A., Karim, A., Tariq, U., Munir, S. and Riaz, S. 2013. Effect of drought stress on growth and flowering of marigold (*Tagetes erecta* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 45: 123-131.
- Shamsadin Saeid, M., Farahbakhsh, H. and Maghsoudi Mod, A.A. 2007. Effects of salinity stress on germination, vegetative growth and some physiological characteristics of autumn canola cultivars. *Journal of Water and Soil Science*, Isfahan University of Technology, 11(41): 191-202. [In Persian with English Summary].
- Singh, G. and Walingford, U.K., 2010. *The Soybean, Botany, Production and Uses*. Cambridge University Press.
- Smith, S.E. and Read, O.J. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, New York, 587P.
- Sopha, V.T., Savage, E., Anacle, A.O. and Beyl, C.A. 1991. Vertical differences of wheat and triticale to water stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 167: 23-28. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1991.tb00929.x>
- Taghvaei, M. and Aliolad, N. 2015. Effect of drought stress on early vigor in primary tritipyrum lines. *Iranian Journal of Seed Research*, 1(2): 61-74. [In Persian with English Summary].
- Taghvayee, M. 2006. Evaluation of drought stress effects in grain filling stage, the ecophysiological characteristics of barley seed. Ph.D. thesis. Faculty of Agriculture. Tehran University. [In Persian with English Summary].

- Tajbakhsh, M. and Ghiyasi, M. 2008. Seed Ecology. Jahad University Press. Urmia University. 134P.
- Tatari, M., FotouhiGhazvini, R., Mousavi, A. and Etemadi, N. 2015. Study of some morphological characteristics in three turf grass species under drought stress conditions. Arid Biome Scientific and Research Journal, 5(2): 11-27. [In Persian with English Summary].
- Tatic, M., Mladen, J., Balesevi- Tubic, S., Svetlana, D., Miladinovic, M., Jegor, L. and Dordevic, V. 2004. Effect of drought caused stress on the quality and yield of soybean seed. Abstracts of 27th ISTA Congress, Seed Symposium, P.14.
- Throneberry, G.O. and Smith, F.G. 1955. Relation of respiratory enzymatic activity to corn seed viability. Plant Physiology, 30(4): 337-343. <https://doi.org/10.1104/pp.30.4.337>
- Vannozi, G. and Larner, F. 2007. Proline accumulation during drought rhizogene in maize. Journal of Plant Physiology, 85: 441-467.
- Vieira, R.D., TeKrony, D.M. and Egli, D.B. 1991. Effect of drought stress on soybean seed germination and vigor. Journal of Seed Technology, 15(1): 12-21.
- Yasari, E. and Patwardhan, I.S. 2007. Effects of Azotobacter and Azospirillum inoculations and chemical fertilizers on growth and productivity of Canola. Asian Journal of Plant Sciences, 6(1): 77-82. <https://doi.org/10.3923/ajps.2007.77.82>
- Zafari, M., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S. and Sedghi, M. 2017. The effect of brassinosteroids on germination parameters of mother seeds of safflower under drought tension. Crop Physiology Journal, 9: 5-17. [In Persian with English Summary].
- Zaidi, S.F.A. 2003. Inoculation with Bradyrhizobium japonicum and Pseudomonas fluorescent to control Rhizoctonia solani in soybean [*Glycine max* L. Merr]. Annals of Agricultural Research, 24: 151-153.

Research Article

Effect of Drought Stress, Mycorrhiza and Bacteria on Mother Plant on Produced Seed Vigor and its Related Traits in Soybean (*Glycine max* cv. Kosar)Esmael Gholinezhad^{1*}, Naser Samsami², Abbas Abhari³**Extended abstract**

Introduction: Soybean is a plant that has a moderate tolerance to drought stress. Drought stress is one of the most important abiotic stresses affecting soybean production by about 40%. In addition, drought stress reduces seed vigor as a result of stress conditions. Positive effects of mycorrhizal fungi on the increment of dry matter and plant biomass, especially in low-irrigated conditions and in dry areas have been proven. The reason for the increase in crop yield in mycorrhizal inoculated plants is their water balance in water deficit stress conditions and as a result, absorption of water and mineral elements. Rhizobium bacteria, carbohydrates, and other foods are caught from the phloem vessels and the received energy is used to convert nitrogen to ammonium ion and eventually amino acids. *Japonicum rhizobium* bacterium is not naturally found in soils of Iran and the bacteria should be added to the soil along with seeds.

Materials and Methods: This experiment was carried out to determine the germination characteristics, seed vigor and its related traits in soybean Kosar cultivar grown under drought stress conditions and inoculation with mycorrhiza and bacteria with three replications during 2018. In the field experiment, drought stress included optimal irrigation (irrigation after 70 mm evaporation), moderate stress (irrigation after 110 mm evaporation) and severe drought stress (irrigation after 150 mm evaporation from class A evaporation pan), mycorrhizal fungus in three levels, mycorrhiza-free, and inoculation with *glomus mosseae*, *Glomus intraradices* and *Rhizobium* bacterium in two levels, including no inoculation and inoculation with *Rhizobium japonicum*.

Results: The mean comparison showed that the seeds obtained under normal irrigation, inoculation with mycorrhiza and bacteria had the highest dry weight of radicle, plumule and seedling, percentage and germination rate. The lowest electrical conductivity of the seeds and the mean time of germination were obtained under these condition. Severe and moderate drought stress reduced stress tolerance index, root tolerance index and stem tolerance index, seedling vigor index and seed vigor index compared to optimum irrigation about 42-23, 38-18, 30-18, 50-26 and 41-21) percent, respectively. Inoculation with *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices* increased the seed vigor index, radicle length, plumule length and seedling length compared to non-inoculation with mycorrhizal fungi by 48-42, 27-26, 41-37 and 35-33 percent, respectively. Inoculation with *Rhizobium japonicum* increased radicle length, plumule length and seedling length compared to non-inoculation with bacterium by 21%, 16% and 18%, respectively. The highest water percentage in seedling tissue was obtained under optimum irrigation conditions, inoculation with mycorrhizal fungi and inoculation with rhizobium bacteria.

Conclusion: According to the results of this study, in all three different irrigation conditions to improve germination and increase seed vigor, the use of mycorrhiza fungi is effective especially *glomus mosseae* and inoculation with *Rhizobium* bacteria.

Keywords: *Allometric coefficient, Germination, Membrane stability index, Seed electrical conductivity, Seed vigor*

Highlights:

- 1- Germination characteristics, germination rate and duration of soybean Kosar cultivar on seeds obtained under different irrigation conditions were investigated.
- 2- The effect of mycorrhiza and bacteria on seed vigor and related traits were evaluated under different levels of drought stress.
- 3- The damage done to the seed membranes due to the interaction of irrigation and inoculation with mycorrhiza and bacterium was investigated.

¹Associate professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran

² M.Sc of Agro-ecology, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

³Assistant professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1399.7.1.7.4>

<http://dx.doi.org/10.29252/yujs.7.1.99>



CrossMark

* Corresponding author, E-mail: e_gholinejad@pnu.ac.ir