

مقاله پژوهشی

اثر مایکوریزا بر فعالیت آنزیم کاتالاز، ویژگی‌های رشد و کیفی بالنگو شیرازی (*Lallemantia roylana*) در شرایط تنش آبیاری

آرزو پراور^۱، سعیده ملکی فراهانی^{۱*}، علیرضا رضازاده^۲

^۱ گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ^۲ گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۲/۰۷)

چکیده

به منظور بررسی اثر مایکوریزا بر فعالیت آنزیم کاتالاز، ویژگی‌های رشد و کیفی بالنگو شیرازی در شرایط کم آبیاری به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم آبیاری (۳۰٪، ۶۰٪ و ۹۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک) و کود زیستی مایکوریزا (تلقیح و عدم تلقیح) بود. با کاهش شدید مقدار رطوبت (۹۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک)، صفات جوانه‌زنی، فعالیت آنزیم کاتالاز، عملکرد بذر و زیست‌توده و خصوصیات کیفی بذر کاهش یافت و بیش‌ترین مقاومت و بهترین پاسخ گیاه به رژیم آبیاری در سطح ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد. تلقیح مایکوریزا نسبت به عدم تلقیح مایکوریزا اثر مثبت معنی‌دار و افزایشی بر بهبود رشد، عملکرد و ویژگی کیفی و آنزیمی بالنگو داشت. گیاهان تلقیح‌شده درصد جوانه‌زنی (۱۰۰ درصد)، سرعت جوانه‌زنی، عملکرد دانه (۱۳۳۳/۷۵ کیلوگرم در هکتار)، محتوای کلروفیل، درصد موسیلاژ، درصد فسفر بذر و درصد روغن بذر و فعالیت آنزیمی کاتالاز بالاتر و بهتری تحت رژیم آبیاری ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده تحت دیگر رژیم‌های آبیاری داشتند. کم‌ترین مقدار رشد، عملکرد و ویژگی کیفی و آنزیمی در گیاهان تلقیح نشده در ۹۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد. نتایج نشان داد که ریشه‌های بالنگو شیرازی پاسخ مثبتی به همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا در شرایط تنش خشکی نشان داد.

کلمات کلیدی: عملکرد دانه، جوانه‌زنی، روغن بذر، فسفر بذر، موسیلاژ بذر

مقدمه

(Farahani, 2019). بذرهای بالنگو شیرازی به دلیل امولسیون و سوسپانسیون کنندگی بالا در صنعت دارویی و بستنی‌سازی استفاده می‌شود (Bahramparvar et al., 2009). مقدار روغن بذرهای بالنگو نسبت به بیشتر بذرهای روغنی حتی کتان (*Linum usitatissimum* L.) نیز بالاتر است (Zlatanov et al., 2012). باتوجه به اینکه بالنگو یک گیاهان دارویی است، به دلیل بالابودن محتوای روغن در بذرهای بالنگو، امروزه توانسته

گیاه دارویی بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana*) گیاهی یکساله، دیپلوئیدی و اسانس‌دار از تیره نعنائیان است، که موسیلاژ فراوانی دارد و به‌طور سنتی در درمان بیماری‌های سرماخوردگی، سرفه و بیماری‌های کبدی و کلیوی استفاده می‌شود. علاوه‌براین نقش مؤثری در کاهش چربی و کلسترول خون دارد (Al-Snafi, 2019). (Abdollahi and Maleki

*نویسنده مسئول، نشانی پست الکترونیکی: maleki@shahed.ac.ir

به عنوان یکی از گیاهان روغنی به صورت زراعی نیز کشت شود. بنابراین ویژگی دارویی، صنعتی و نقش آن در کشاورزی، گیاهی چند منظوره محسوب می شود (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۱). گیاه دارویی بالنگو شیرازی تا به امروز به صورت عمده و صنعتی کشت نشده است، از این رو تراکم پذیری بالنگو که توسط کشاورزان خرد انجام می شود در کشت های به موقع دیم انتظاری اواخر پاییز، اواخر زمستان و اوایل بهار، ۱۰۰ بوته در متر مربع، در کشت کرپه و تأخیری آبی ۵۰۰ بوته در متر مربع و در کشت بهاره به موقع آبی تا حدود ۲۵۰ بوته در متر مربع است (شفق کلوانق و دست برهان، ۱۳۹۶). نتایج نشان داده است که میزان عملکرد متوسط بالنگو شیرازی ۹۰۰ تا ۱۳۰۰ کیلوگرم در هکتار است (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019).

در محیط طبیعی، گیاهان به طور مداوم در معرض شرایط متنوع محیطی قرار دارند که ممکن است بر بقا گیاه، توسعه و بهره وری گیاه اثر بگذارد (Attarzadeh et al., 2019). کمبود آب یکی از تنش های غیرزنده است که سبب محدودیت رشد و عملکرد بذری می شود (Pirzad and Mohammadzadeh, 2018). کمبود آب به طور عمده باعث کاهش میکروارگانیسم های مفید خاک، رشد گیاهان، اختلال در تغذیه (Ebrahimian et al., 2019)، کاهش عناصر بذری (Ortas and Bykova, 2018)، تغییر در محتوای موسیلاژ بذری (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019; Pirzad and Mohammadzadeh, 2018) می شود. شرایط نامطلوب محیطی از نظر کمبود مواد غذایی و کم آبی در زمان نمو و بلوغ بذری باعث کاهش کیفیت بذری می شود (Geshnizjani et al., 2019). تنش آبی اعمال شده در زمان نمو و بلوغ بذری در تعیین ویژگی کمی و کیفی بذری اثرگذار است (Rashid et al., 2018). کاهش عملکرد و ویژگی کیفی بذری ناشی از تنش آبی اعمال شده در زمان تشکیل بذری روی بالنگو شهری (*L. iberica*) و شیرازی (*L. roylana*) گزارش شده است (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019). کم آبی باعث اختلال در تعادل بین رادیکال های فعال اکسیژن و دفاع آنتی اکسیدان در بخش های مختلف گیاه می شود (پراور و همکاران، ۱۳۹۷). رادیکال های فعال با بسیاری از

ترکیبات سلولی واکنش داده و باعث خسارت به غشاء، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها می شود که این خسارت ها نیز اثر نامطلوبی بر مقدار عملکرد، کیفیت بذری و جوانه زنی می گذارد (Omidi et al., 2018). از این رو گیاهان با دارابودن سیستم دفاع آنتی اکسیدان مثل ترکیبات آنزیمی (کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز) و غیر آنزیمی، مقدار رادیکال های آزاد اکسیژن را در سلول های گیاهی کنترل می کند (پراور و همکاران، ۱۳۹۷). گزارش شده است افزایش میزان آنتی اکسیدان مثل کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز تحمل گیاه را به تنش های محیطی افزایش می دهد (Su et al., 2016).

استفاده از منبع عوامل زیستی در کشاورزی دارای قدمت بسیار زیادی است و در گذشته نه چندان دور، تمام مواد غذایی مورد مصرف انسان با استفاده از چنین منابع ارزشمندی تولید می شدند (قاسمیان و همکاران، ۱۳۹۷). قارچ آربوسکولار میکوریزا (*Funneliformis mosseae*، *Claroideoglomus etanicum* و *Rhizophagus intraradice*) از مجموعه عوامل زیستی است که بخش مهمی از موجودات خاکری را شامل می شود. قارچ آربوسکولار میکوریزا بخش اصلی فلور محیط ریشه گیاهان در محیط های طبیعی هستند که رابطه همزیستی با بیشتر نهاندانگان از جمله چندین گونه گیاه دارویی دارند (Ebene et al., 2019). قارچ های میکوریزا دارای کارکرد چند منظوره ای در محیط های زراعی هستند و بالقوه سبب بهبود کیفیت فیزیکی خاک، کیفیت شیمیایی خاک از طریق جذب عناصر غذایی و کیفیت بیولوژیکی خاک می شوند (Pawlowski et al., 2020). همزیستی میکوریزا نقش مفیدی در تجزیه مواد آلی خاک، معدنی شدن عناصر غذایی گیاهان و چرخه عناصر غذایی دارد. الگوی کلونیزاسیون این قارچ ها تحت تأثیر اسیدپته خاک، مقدار عناصر غذایی و برهم کنش با سایر ریز موجودات قرار می گیرند (Hashem et al., 2019). افزایش جذب عناصر آهن، فسفر، نیتروژن و پتاسیم ناشی از کاربرد کود میکوریزا بر روی ذرت (*Zea mays*) گزارش شده است (Polcyn et al., 2019). نتایج پژوهشی بر روی کتان (*Linum usitatissimum*) نشان داده است که کاربرد کود میکوریزا در شرایط تنش

خشکی باعث افزایش عملکرد بذر و عملکرد زیست‌توده کتان شد (Rahimzadeh and Pirzad, 2019). نتایج Pirzad و Mohammadzadeh (۲۰۱۸) نشان داد که همزیستی ریشه گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) و آویشن (*Thymus vulgaris*) با مایکوریزا به‌طور معنی‌داری موجب افزایش عملکرد بذر، عملکرد زیست‌توده و بهبود کیفیت اسانس شد. در مطالعه‌ای بر روی بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*)، نشان داده شده است که کاربرد کود مایکوریزا در شرایط کم آبی، افزایش عملکرد بذر، عملکرد زیست‌توده و بهبود رشد را به‌همراه داشت (قاسمیان و همکاران، ۱۳۹۶). هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر همزیستی قارچ مایکوریزا بر فعالیت آنزیم کاتالاز، ویژگی‌های رشد و کیفی بالنگو شیرازی در رژیم‌های متفاوت آبیاری است.

مواد و روش

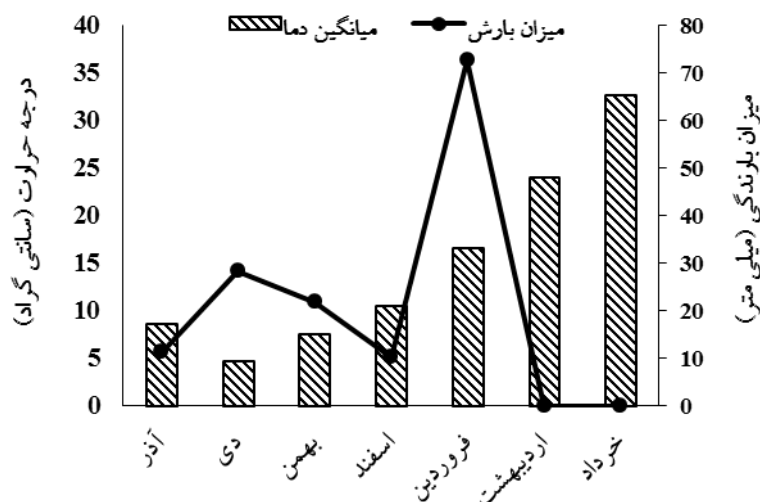
این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی، ارتفاع ۱۹۰ متر از سطح دریا انجام شد. میانگین دما و بارش در طول دوره رشد در شکل ۱ نشان داده شده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل: رژیم آبیاری (آبیاری پس از ۳۰٪ (شاهد)، ۶۰٪ (تنش ملایم) و ۹۰٪ (تنش شدید) تخلیه آب قابل استفاده خاک) و کود مایکوریزا (تلقیح و عدم تلقیح) بود. مایه تلقیح مایکوریزا ترکیبی از سه گونه قارچ *Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus* و *Claroideoglomus etanicatum* بود که از کلکسیون میکروبی مؤسسه آب و خاک، کرج تهیه شده بود. تعداد تقریبی اسپور قارچ در هر گرم خاک بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ اسپور بود. قارچ‌های مایکوریزا به مقدار ۲۰ گرم در متر طولی و قبل از کاشت بذر با ایجاد شیار در کنار خطوط کاشت و ۲ متر پایین‌تر از محل استقرار بذر قرار گرفتند (قاسمیان و همکاران، ۱۳۹۷). قبل از انجام آزمایش

به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، پنج نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک به‌صورت تصادفی صورت گرفت (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019) و نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. ابعاد هر کرت ۲×۲ مترمربع در نظر گرفته شد، هر کرت شامل ۴ ردیف کاشت بود. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف‌ها طوری تنظیم شد که تراکم کاشت ۴۰ بوته در مترمربع (در هر ردیف و در هر متر طولی ۴۰ بوته) بود. کشت در تاریخ ۱۵ آبان ۱۳۹۸ انجام شد. در ابتدای آزمایش و تا زمان استقرار کامل گیاه، آبیاری برای کلیه تیمارها به‌صورت یکسان صورت گرفت. تیمارهای آبیاری پس از استقرار کامل گیاه اعمال شد و تا پایان فصل رشد ادامه داشت. برای تعیین درصد رطوبت خاک، در فاصله بین دو آبیاری و حدود دو تا سه روز پس از هر آبیاری، روزانه از هر کرت اصلی، یک کرت فرعی به‌طور تصادفی انتخاب و پس از خروج آب ثقلی و عبور از مرحله ظرفیت زراعی، نمونه‌هایی از خاک در منطقه توسعه ریشه که تابعی از مرحله رشد گیاه است (از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) توسط اوگر نمونه‌برداری شد. بدین‌وسیله پس از تعیین مقدار رطوبت خاک تیمار مورد نظر توسط اوگر، کمبود رطوبت تیمارهای مختلف تا رسیدن به ظرفیت زراعی جایگزین شد. حجم آب در هر آبیاری و برای هر کرت اصلی براساس رابطه ۱ محاسبه شد (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019).

$$\text{In} = \frac{(Fc - \theta) \times D \times A}{100} \dots\dots\dots \text{رابطه ۱:} \dots\dots\dots$$

In = حجم آبیاری برحسب متر مکعب، Fc درصد رطوبت وزنی خاک در حالت ظرفیت زراعی، θ = درصد رطوبت خاک در تیمارهای تنش کمبود آب، D = عمق توسعه ریشه، A = مساحت هر کرت براساس مترمربع. میزان حجم آب مصرفی با استفاده از کنتور به‌طور دقیق اندازه‌گیری و اعمال شد. جهت کنترل آب ورودی و ممانعت از ورود آب باران به کرت‌ها، شلترهای پلاستیکی به‌کار برده شد. برای تعیین میزان رطوبت ظرفیت زراعی و پژمردگی، از دستگاه صفحه فشاری در آزمایشگاه آب و خاک دانشگاه صنعتی اصفهان برای فشارهای

صفر، ۱۰، ۳۳، ۱۰۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال استفاده شد که مقدار رطوبت حجمی برای ظرفیت زراعی (۲۰/۹) و نقطه پژمردگی



شکل ۱- میانگین دما و بارندگی محل اجرای آزمایش

جدول ۱- ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	pH	EC (ds/m)	آهن	فسفر	پتاسیم	نیتروژن	رس	سیلت	شن
			(mg/kg)			(/.)			
لوم رسی	۷/۰۰	۴/۱	۱۲	۱۱/۵	۶۴۶	۰/۱۱	۳۰	۵۰	۲۰

و همکاران، ۱۳۹۶). برای اندازه‌گیری روغن بذر به مقدار پنج گرم بذره‌های بالنگو شیرازی پودر شدند و روغن بذر در محلول هگزان (ACS grade, Reag. PhEur; obtained from Merck Chemical Co., Germany Garg, capacity: 150 ml, length: 1250 mm and سوکسله (catalog number GI-1706-B) استخراج شد. ۱۵۰ میلی‌لیتر از حلال در سوکسله ریخته شد و سپس بذره‌های پودر شده اضافه گردید. حالا جوش و تبخیر شد. این روند تراکم تبخیر به مدت ۱۰ ساعت ادامه یافت و پس از برداشتن حلال، روغن نیز از بذره‌های قهوه‌ای نیز استخراج شد (Visavadiya et al., 2009). محتوای کلروفیل با استفاده از روش Arnon (۱۹۴۹) در مرحله گل‌دهی (۲۰ فروردین ۱۳۹۹) از برگ‌های جوان و انتهایی محاسبه شد.

رابطه ۲...

$$\text{Chl a (mg/g FW)} = 12.7 (\text{A663.6}) - 2.69 (\text{A646.6})..$$

رابطه ۳..

(۱۰/۸) بدست آمد. اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز در دوره پرشدن بذر، نمونه برداری‌هایی در فواصل زمانی مشخص انجام شد. بدین منظور در مرحله گل‌دهی تعداد ۳۰ بوته یکسان که از لحاظ ظاهری در یک مرحله بودند، مشخص شدند و در فواصل هشت روزه از اوایل گل‌دهی تا رسیدگی دانه، چهار نوبت نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری کاتالاز از نمونه‌های مشخص شده انجام شد (پنج بوته از هر کرت در هر بار نمونه‌برداری). نمونه‌برداری از ساقه اصلی در هر بوته انجام شد (کریمی جلیله وندی و همکاران، ۱۳۹۶). برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده گیاهی در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی کامل که دانه‌ها تقریباً نیمه قهوه‌ای بودند، از هر کرت آزمایشی مساحتی برابر با ۲ مترمربع برداشت شد. برای اندازه‌گیری غلظت فسفر بذر ۲ گرم از بذر بالنگو را وزن کرده و توسط هاون چینی پودر شد و به روش کالریتری (رنگ زرد مولیبدات و انادات) اندازه‌گیری انجام شد (کریمی جلیله وندی

$GP =$ درصد جوانه‌زنی، $n =$ تعداد بذر جوانه‌زده و $N =$ تعداد کل بذرها است.

سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۲ محاسبه شد (پراور و همکاران، ۱۳۹۷).

$$GR = \frac{\sum ni}{di} \quad \text{رابطه ۶:}$$

$GR =$ سرعت جوانه‌زنی، $ni =$ تعداد بذرها جوانه‌زده تا روزنام، $di =$ زمان پس از کاشت مرتبط با ni بر حسب روز.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز نیز ابتدا عصاره آنزیمی استخراج گردید. ۰/۵ گرم از برگ منجمدشده در بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار حاوی پلی‌وینیل پیرولیدون ۱ درصد و EDTA یک میلی‌مولار همگن گردیدند. همگن‌های حاصل در ۱۰۰۰۰۰ g به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ و بخش رویی برای سنجش آنزیم مورد استفاده قرار گرفت (Alexieva *et al.*, 2001). بدین جهت، مخلوط واکنشی محتوی ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۱۵ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن و ۵۰ میلی‌مولار بافر پتاسیم فسفات (۳۰ میلی‌مول بر لیتر و pH=۷) است. جذب پراکسید هیدروژن در مدت ۳۰ ثانیه در طول موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Bailly *et al.*, 1998). برای اندازه‌گیری پروتئین از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد. به این منظور به لوله‌های آزمایش مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره پروتئینی و پنج میلی‌لیتر معرف بیوره افزوده و سریعاً ورتکس شد. پس از دو دقیقه و قبل از یک ساعت جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد و غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد با کمک آلومین گاو محاسبه گردید. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از پژوهش با نرم‌افزار آماری SAS، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

بحث و نتایج

نتایج تجزیه واریانس معنی‌دار بودن اثر رژیم‌های آبیاری، مایکوریزا و برهم‌کنش رژیم آبیاری و کاربرد مایکوریزا بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، محتوای کلروفیل کل و فعالیت آنزیم کاتالاز در ۷ روز، ۱۴ روز و ۲۱ روز و ۲۸ روز

$$Chl\ b\ (mg/g\ FW) = 22.9\ (A646) - 4.68\ (A663.6).$$

رابطه ۴.

$$Chl\ a+b\ (mg/g\ FW) = 7.15\ (A663) + 18.71\ (A647)..$$

که در آن $Chl\ a$ ، $Chl\ b$ و $Chl\ a+b$ به ترتیب محتوی کلروفیل a و b و مجموع کلروفیل کل برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ و A فرمول میزان جذب توسط عصاره‌ها در طول موج‌های مربوطه است، که با استفاده از اسپکتوفتومتر خوانده شد.

مقدار موسیلاژ با روش Kalyanasundaram و همکاران (۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. در این روش یک گرم بذر خشک با ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک درصد نرمال تا تغییر رنگ پوسته بذر حرارت داده شد. محلول موسیلاژی حاصل جدا گردید و بذرها دوبار با پنج میلی‌لیتر آب جوش شستشو داده شدند و محلول‌های حاصل به محلول موسیلاژ اولیه اضافه گردید. با افزودن ۶۰ میلی‌لیتر الکل اتیلیک ۹۶ درصد به محلول مذکور و قراردادن آن به مدت پنج ساعت در یخچال رسوب موسیلاژی بدست آمد، که پس از صاف کردن، در آون در درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت قرار گرفت و سپس توزین گردید و مقدار موسیلاژ برحسب گرم در هر گرم بذر تعیین و به صورت درصد ثبت شد. برای آزمون جوانه‌زنی استاندارد، ۵۰ عدد بذر تیمار شده در پتری‌های استریل روی کاغذ واتمن شماره ۱ قرار داده شد (پراور و همکاران، ۱۳۹۷) و به هر ظرف پتری حدود ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد. بذرها در دمای ۱۰ درجه سلسیوس، ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی و ۷۵ درصد رطوبت نسبی هوا برای جوانه‌زنی در ژرمیناتور قرار داده شدند. طول دوره جوانه‌زنی ۱۴ روز در نظر گرفته شد (پراور و همکاران، ۱۳۹۷). برای محاسبه درصد جوانه‌زنی (رابطه ۵)، سرعت جوانه‌زنی (رابطه ۶) از برنامه جرمین استفاده شد.

درصد جوانه‌زنی از رابطه ۱ محاسبه شد (پراور و همکاران، ۱۳۹۷).

$$GP = 100 \times \left(\frac{nG}{NT} \right)$$

رابطه ۵:

گل‌دهی (جدول ۲)، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، درصد موسیلاژ بذر، درصد فسفر بذر، روغن بذر، نشان داد (جدول ۳).

درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی: نتایج افزایش ۳۳ درصدی جوانه‌زنی در بذر گیاهان تلقیح‌شده تحت رژیم آبیاری

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های آبیاری و کاربرد مایکوریزا بر صفات جوانه‌زنی، کلروفیل کل، فعالیت آنزیم کاتالاز

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
فعالیت آنزیم کاتالاز (روزهای پس از گل‌دهی)				کلروفیل کل	سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی		
۲۸ روز	۲۱ روز	۱۴ روز	۷ روز					
۰/۰۹ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۱۳۵ ^{ns}	۰/۰۳۶ ^{ns}	۲/۲۵۸*	۰/۰۰۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۲۲۲ ^{ns}	۲	تکرار
۱/۰۱۹**	۱/۷۵**	۰/۸۹۲**	۱/۸۲**	۴۱/۲۹۴**	۰/۰۰۱**	۱۳۴/۸۸**	۲	رژیم آبیاری (A)
۲۰/۹۷**	۲۶/۲۳**	۲۳/۱۶۵**	۱۹/۶۱**	۶۱۱/۵۳۷**	۰/۰۰۱**	۱۶۰۵/۵۵**	۱	کود مایکوریزا (B)
۲/۷۵**	۲/۴۲**	۱/۸۹۷**	۱/۱۶**	۲۹/۷۵۵**	۰/۰۰۰۱**	۸۹/۵۵**	۲	A × B
۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۶۶	۰/۰۹۸	۰/۵۱	۰/۰۰۰۰۰۲	۶/۳۶	۱۰	خطا
۲/۳۹	۲/۳۲	۳/۴۷	۴/۲۸	۲/۸۴	۳/۲۱	۳/۰۵		ضریب تغییرات

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های آبیاری و کاربرد مایکوریزا بر عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و خصوصیات کیفی بذر

میانگین مربعات				عملکرد دانه	درجه آزادی	منابع تغییرات
روغن بذر	فسفر بذر	موسیلاژ بذر	عملکرد زیست‌توده			
۰/۴۷۸ ^{ns}	۲/۴۹۳ ^{ns}	۲/۴۴۴ ^{ns}	۴۲۶/۰۳ ^{ns}	۲۷۸/۱۸ ^{ns}	۲	تکرار
۱۲/۱**	۱۰۷/۱۸**	۲۰۱/۴۲**	۲۹۸۱۰۲۱/۴۷**	۱۳۲۲۸۲/۳۹**	۲	رژیم آبیاری (A)
۱۴۶/۴۳**	۱۲۸۷/۲۷**	۸۳۹/۳۳**	۶۶۰۰۳۰۳/۲۴**	۱۸۷۶۳۰۷/۳۴**	۱	کود مایکوریزا (B)
۱۵/۱۲**	۲۰۷/۹۶**	۲۷۸/۰۷۴**	۶۱۹۰۰۲/۲۰**	۲۲۱۶۲۲/۸۱**	۲	A×B
۰/۲۱	۶/۵۶	۳/۵	۱۸۲۶/۲۴	۱۳۶/۳۱	۱۰	خطا
۲/۴۶	۴/۷۳	۶/۴۹	۱/۸	۱/۲۶		ضریب تغییرات

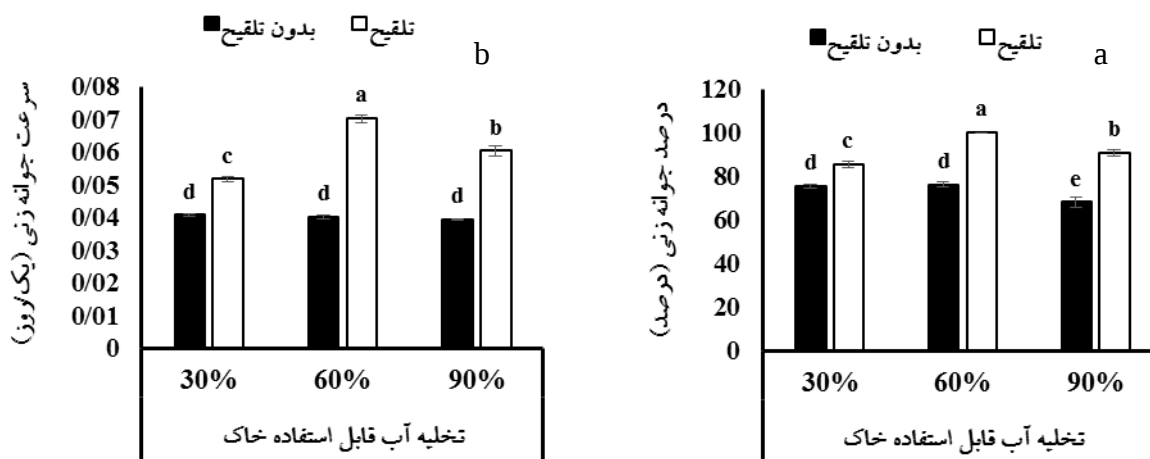
ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

رژیم آبیاری ۹۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۲b و ۲a). هم‌راستا با این نتایج افزایش درصد جوانه‌زنی بذرهای ذرت (*Zea mays*) تلقیح‌شده با قارچ‌های مایکوریزا در شرایط خشکی گزارش شده است (افکاری، ۱۳۹۸). مطالعه‌ای بر روی بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و شیرازی (*Lallemantia royleana*) نشان داده است

۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده تحت رژیم آبیاری نرمال (۳۰٪) نشان داد. همچنین بیش‌ترین مقدار سرعت جوانه‌زنی (۰/۰۷۰ یک بر روز) در بذر گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا که در معرض رژیم آبیاری ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک بودند، مشاهده شد. کم‌ترین مقدار درصد و سرعت جوانه‌زنی در بذر گیاهان تلقیح نشده تحت

همکاران، ۱۳۹۷). نتایج نشان داد بذرهای تولیدشده در شرایط ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک میزان موسیلاژی بالاتری دارند و با کاهش رطوبت خاک، میزان موسیلاژ کاهش یافت (جدول ۴). دلیل بالابودن درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی

که افزایش تنش خشکی در زمان نمو بلوغ بذر باعث کاهش درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذر و یادآور شدند کاهش جذب آب توسط بذر در شرایط خشکی منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی و سرعت رشد گیاهچه شد (پراور و



شکل ۲- اثر کود مایکوریزا و رژیم‌های آبیاری بر درصد جوانه‌زنی (a) و سرعت جوانه‌زنی (b) بذرهای بالنگو شیرازی

جدول ۴- بررسی مقایسه میانگین اثر کود مایکوریزا و رژیم آبیاری بر ویژگی کیفی بذر بالنگو شیرازی

تیمار		موسیلاز بذر	فسفر بذر	روغن بذر
رژیم آبیاری (%)	کود	(درصد)		
۳۰	بدون تلقیح	۲۴/۰۰±۰/۱۷ ^c	۴۹/۰۹±۰/۷۲ ^d	۱۶/۳۳±۰/۱۳ ^d
	تلقیح	۲۵/۷۶±۱/۱۳ ^c	۵۳/۰۳±۰/۵۲ ^c	۱۸/۸۴±۰/۱۶ ^c
۶۰	بدون تلقیح	۲۱/۲۲±۰/۵۹ ^d	۴۵/۵۰±۰/۲۸ ^e	۱۵/۷۴±۰/۲۰ ^{de}
	تلقیح	۴۹/۷۳±۲/۱۲ ^a	۷۲/۴۲±۳/۰۵ ^a	۲۴/۶۰±۰/۲۱ ^a
۹۰	بدون تلقیح	۲۰/۷۵±۰/۴۳ ^d	۴۲/۴۶±۰/۹ ^f	۱۵/۰۰±۰/۱۲ ^e
	تلقیح	۳۱/۴۵±۰/۵۵ ^b	۶۲/۳۳±۰/۸۸ ^b	۲۰/۷۳±۰/۶۰ ^b

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد هستند.

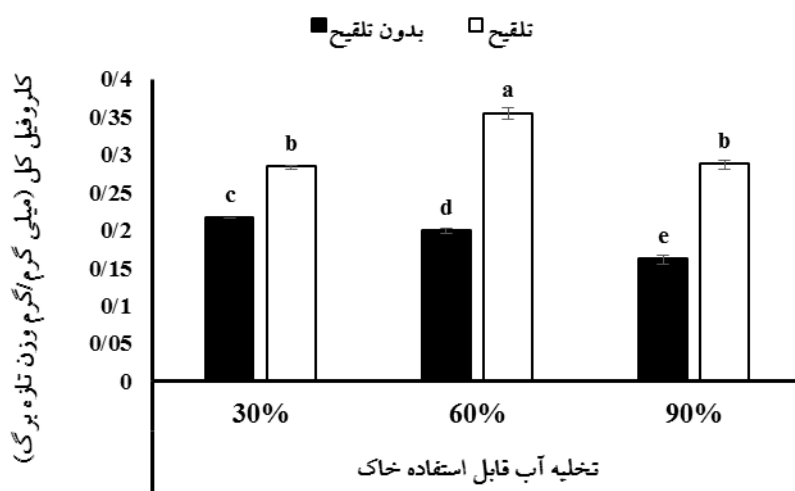
اختیار ریشه گیاه بالنگو تلقیح‌شده قرار داده است. در واقع قارچ مایکوریزا با توجه به فراربودن عناصر غذایی مثل نیتروژن با نفوذ به اعماق بیشتر خاک و قرار دادن حجم زیادی از خاک در اختیار ریشه گیاه مانع آبشویی نیتروژن از سطح خاک می‌شود و در پی آن نیتروژن می‌تواند در سنتز مواد ذخیره‌ای از جمله پروتئین‌ها ایفای نقش نماید. از این‌رو بالابودن مقدار این ذخائر موجب افزایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و تولید گیاهچه‌های قوی‌تر شده که می‌تواند از طریق افزایش

بذرهای تنش‌دیده بالنگو شیرازی در شرایط ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک می‌تواند به این دلیل باشد که موسیلاژ درون سلولی بذر به عنوان مخزن هیدرولیک است که منجر به انتقال مجدد املاح در شرایط تنش شده است، بنابراین امکان جذب مؤثری در شرایط کم آبی وجود دارد (پراور و همکاران، ۱۳۹۶). به نظر می‌رسد قارچ‌های مایکوریزا با نفوذ ریشه‌های عمیق خود به اعماق خاک حجم بیشتری از خاک را در اختیار ریشه قرار داده و از این طریق عناصر غذایی زیادی را در

تلقیح شده نیز مشاهده شد (شکل ۳). به طوری که نسبت به گیاهان تلقیح نشده تحت آبیاری نرمال، افزایش ۶۴/۳۱ درصدی محتوای کلروفیل داشتند. کاهش معنی دار محتوای کلروفیل در

سطح برگ، ارتفاع گیاه و کارایی فتوسنتز موجب افزایش عملکرد شود (Alghamdi, 2019; Porras-Alfaro and Bayman, 2007).

محتوای کلروفیل کل: بیشترین مقدار محتوای کلروفیل کل در شرایط ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک در گیاهان



شکل ۳- بررسی مقایسه میانگین اثر کود مایکوریزا و رژیم آبیاری بر محتوای کلروفیل کل بالنگو شیرازی

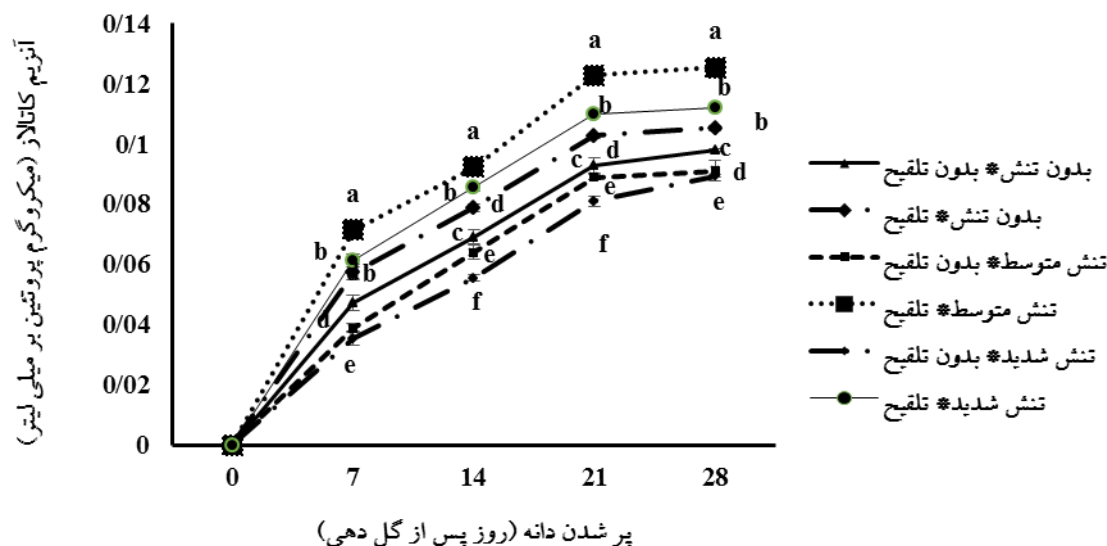
داشت. در واقع تلقیح مایکوریزا از طریق نفوذ در حفرات بسیار ریز خاک، نفوذ ریشه‌های موین گیاه به نقاط غیرقابل دسترس خاک را افزایش داده و فواید متعددی از جمله بهبود تغذیه و جذب آب، جذب کربن اضافی، افزایش ظرفیت انتقال فراروده‌های فتوسنتزی، افزایش تولید فیتوهورمون‌ها را برای گیاه درگیر فراهم می‌کند (Buba and Muhammad, 2020).

فعالیت آنزیم کاتالاز: نتایج بیشترین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز را در ۷ روز بعد از گل‌دهی (۰/۰۶۰) در ۱۴ روز بعد از گل‌دهی (۰/۰۸۰)، ۲۱ روز بعد از گل‌دهی (۰/۱)، ۲۸ روز بعد از گل‌دهی (۰/۱۱) در بذر گیاهان تلقیح شده که تحت رژیم آبیاری ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک نمو یافته بودند را نشان داد. کمترین مقدار فعالیت آنزیم در طی مراحل پرشدن بذر از ۷ روز تا ۲۸ روز پس از گل‌دهی در گیاهان تلقیح نشده تحت رژیم آبیاری ۹۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۴). دلیل افزایش آنزیم کاتالاز در گیاهان تلقیح شده کنگد در شرایط کم‌آبی در مرحله نمو بذر به دلیل کاهش مقدار

این پژوهش می‌تواند حاکی از آن باشد که رژیم آبیاری اعمال شده به خصوص ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک بر میزان محتوای کلروفیل بالنگو شیرازی اثر محدودکننده‌ای داشته و این گیاه در سطح بالاتر از ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده نتوانست تا حدودی رنگیزه‌های فتوسنتز کل را حفظ نماید. این امر مبین ساز و کارهای تحمل یا مقاومت به کم‌آبی تا سطح ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک در این گیاه است (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019). به نظر می‌رسد کاهش مقدار آب آبیاری منجر به بسته شدن روزنه و کاهش انتقال کربن دی‌اکسید به داخل برگ شده که نتیجه آن کاهش مقدار فتوسنتز است (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019). کاهش در مقدار کلروفیل گیاه در شرایط کم آبی شدید به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول است که این رادیکال‌ها موجب پراکسیداسیون و تجزیه این رنگدانه‌ها می‌شود (Sharifi and Sharifi, 2019). تلقیح مایکوریزا در شرایط کمبود آب اثری مثبت بر افزایش محتوای کلروفیل

(Mehrabi et al., 2020). در این نتایج مشاهده شد بذرهای تشکیل شده در شرایط کم آبی نه تنها درصد جوانه زنی کمتری داشته (شکل ۲ا) بلکه مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز نیز در این بذرها پایین تر بود (شکل ۴). این نتایج هم راستا با نتایج پروار و همکاران (۱۳۹۷) است که یادآور شدند بذرهای تشکیل شده

آب موجود در داخل گیاه گزارش شده است و آنزیم کاتالاز به عنوان یک مؤلفه مهم مکانیسم دفاعی در گیاه کنجد برای مقابله با کم آبی عمل می کند (Gholinezhad et al., 2020). کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در شرایط کم آبی در طی مرحله نمو بذر گزارش شده است



شکل ۴- اثر کود مایکوریزا و رژیم آبیاری بر فعالیت آنزیم کاتالاز در طی پرشدن دانه بالنگو شیرازی شاهد، تنش متوسط و تنش شدید به ترتیب ۳۰٪، ۶۰٪ و ۹۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک است.

عملکرد دانه (۲۸۵/۳ کیلوگرم در هکتار) نیز در گیاه تلقیح نشده بالنگودر رژیم آبیاری ۹۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۵ا). در شرایط کم آبی به خصوص در ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک همزیستی مایکوریزا با ریشه گیاه دارویی بالنگو شیرازی از طریق ایجاد شرایط مناسب تغذیه ای سبب بهبود جذب آب در شرایط کم آبی شده و منجر به بهبود رشد و افزایش عملکرد بذر شد (شکل ۵ا). احتمالاً کاربرد مایکوریزا از طریق بهبود روابط آبی در سیستم متشکل از آب- خاک- گیاه و همچنین تغییر روابط هورمونی گیاه، سطح فتوسنتز گیاه میزبان تلقیح شده را نسبت به گیاه تلقیح نشده افزایش می دهد (Pirzad and Mohammadzadeh, 2018) به همین دلیل سبب بهبود رشد و افزایش عملکرد بذر بالنگو شیرازی شده است. در حقیقت مایکوریزا جذب عناصر غذایی از خاک را در شرایط کم آبی بهبود می بخشد و فعالیت آنزیم و تولید متابولیت ها را می تواند تغییر دهد و باعث بهبود سیستم

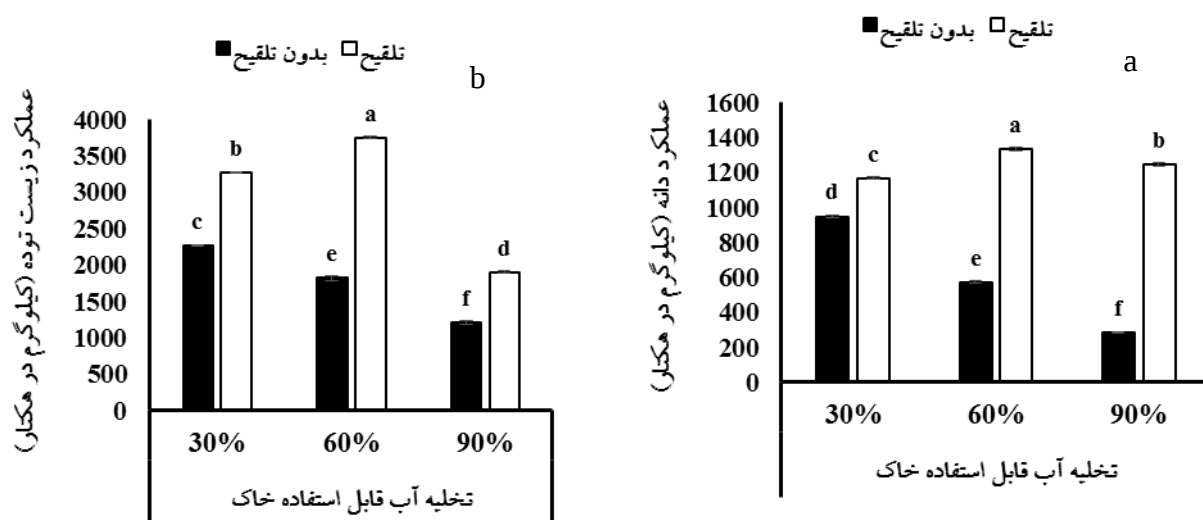
بالنگو شهری (*L. iberica*) و شیرازی (*L. royleana*) در شرایط کم آبی دارای بنیه و جوانه زنی ضعیف تر و کمتری هستند بنابراین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز در بذرهای نمویافته پایین تر است. در نتیجه مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز به محض تشکیل بذر، انتقال مواد غذایی به ویژه نیتروژن از برگ به بذر شروع گردیده ولی کم آبی در زمان نمو بذر از طرفی باعث تجمع رادیکال های آزاد و تنش اکسیداتیو شده (پروار و همکاران، ۱۳۹۷) و از طرفی دیگر باعث تداخل در انتقال مواد غذایی نظیر پروتئین های محلول از برگ به بذر می شود و فعالیت آنزیم های دفاعی نظیر آنزیم کاتالاز برای مقابله با تنش اکسیداتیو را نیز مختل می کند (Wang et al., 2019).

عملکرد دانه: نتایج نشان داد که تلقیح مایکوریزا در شرایط ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک باعث افزایش ۴۰/۳۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به گیاهان تلقیح نشده در رژیم آبیاری ۳۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک شد. کم ترین مقدار

مقدار عملکرد زیست‌توده (۱۲۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار) را گیاهان تلقیح‌نشده با مایکوریزا در رژیم آبیاری ۹۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده گردید (شکل ۵b). گزارش شده است مایکوریزا با افزایش سطح تماس ویژه ریشه‌های گیاه میزبان

فتوستتزی و انتقال مواد غذایی به بذر می‌شود (Rahimzadeh and Pirzad, 2019).

عملکرد زیست‌توده: نتایج افزایش ۶۵/۵۲ درصدی عملکرد زیست‌توده در گیاهان تلقیح‌شده که در معرض رژیم آبیاری ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک بودند در مقایسه با گیاهان تلقیح‌نشده در رژیم آبیاری ۳۰٪، نشان داد. کم‌ترین



شکل ۵- بررسی مقایسه میانگین اثر کود مایکوریزا و رژیم آبیاری بر عملکرد دانه (a) و عملکرد زیست‌توده (b) بالنگو شیرازی

موسیلژ بذر گروهی از ترکیبات کربوهیدراتی است که مملو از پلی‌ساکاریدهاست (پراور و همکاران، ۱۳۹۷)، در گزارشی دلیل افزایش موسیلژ بذر را در گیاهان تلقیح‌شده کتان (*Linum usitatissimum* L.) را به این دلیل دانستند که تلقیح مایکوریزا سبب افزایش انتقال ظرفیت فراورده‌های فتوستتزی شده که این افزایش نقش موثری بر ساخت‌وساز کربوهیدرات پلی-ساکاریدی و افزایش میزان موسیلژ بذر دارد (Rahimzadeh and Pirzad, 2019).

فسفر بذر: نتایج افزایش ۴۷/۷۰ درصدی محتوای فسفر بذر در گیاهان تلقیح‌شده در شرایط ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک نسبت گیاهان تلقیح‌نشده تحت رژیم آبیاری نرمال (۳۰٪)، را نشان داد. مشاهده شد که کم‌ترین مقدار فسفر را بذره‌ای تلقیح‌نشده در رژیم آبیاری ۹۰٪ تخلیه آب داشتند (جدول ۴). کم آبی تعداد تارهای کشنده گیاه را نیز کاهش داده و بر مورفولوژی ریشه و انشعابات ریشه صدمه وارد می‌نماید

جذب و انتقال مواد محلول و عناصر را افزایش داده و به بالا بردن فتوستتزی و رشد اندام هوایی کمک کرده و باعث افزایش عملکرد زیست‌توده شده است (قاسمیان و همکاران، ۱۳۹۶).

موسیلژ بذر: نتایج بیش‌ترین مقدار موسیلژ بذر (۴۹/۷۲ درصد) را تحت رژیم آبیاری ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک در مقایسه با دیگر تیمارها نشان داد. کم‌ترین مقدار موسیلژ بذر در گیاهان تلقیح‌نشده در رژیم آبیاری ۶۰٪ و ۹۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (جدول ۴). بیش‌ترین موسیلژ بذر در گیاه تلقیح‌شده با کود مایکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده گزارش شده است. افزایش مقدار موسیلژ بذر بالنگو شیرازی را در رژیم آبیاری ۴۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک گزارش شده است (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019). نتایج قاسمیان و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که تلقیح بالنگو با کود مایکوریزا در شرایط فواصل مختلف آبیاری باعث افزایش مقدار موسیلژ بذر بالنگو شد.

اسیدهای چرب می‌شود و در نتیجه در سنتز روغن بذر نقش دارد (Pawar et al., 2018).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی براساس نتایج مشاهده‌شده در این پژوهش، با افزایش تخلیه آب قابل استفاده خاک از سطح مطلوب آبیاری تا ۹۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک اگر چه ویژگی رشد و عملکرد، کیفی و آنزیمی کاهش یافت اما در مقایسه بین رژیم‌های آبیاری، گیاه نیز به ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک مقاومت بهتری نشان داد. همزیستی ریشه‌های بالنگو شیرازی با قارچ مایکوریزا اثری مثبت و افزایشی بر بهبود عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، فتوسنتز، موسیلاژ بذر، فسفر، روغن بذر، درصد جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به گیاهان تلقیح نشده در شرایط کم‌آبی داشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تجمع یون‌ها و مولکول‌های آلی در واکنش سلول‌های برگ و انتقال مواد غذایی از برگ به بذر تحت کم‌آبی در بالنگو تلقیح‌شده بیشتر انجام می‌شود و مایکوریزا با افزایش طول مؤثر ریشه سبب افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود و با تأمین آب و عناصر غذایی به‌ویژه فسفر موجب بهبود رشد، ویژگی کیفی و آنزیمی بالنگو شیرازی و پاسخ بهتر این گیاه به کم‌آبی می‌شود.

که در نتیجه آن جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر به‌وسیله سیستم ریشه‌ای کاهش می‌یابد (Askari et al., 2019). افزایش تجمع فسفر در بذر گیاهان تلقیح‌شده توسط مایکوریزا ممکن است به این دلیل باشد مایکوریزا قادر به دریافت حجم بالایی از فسفر از خاک هستند که در نهایت به بذر منتقل می‌کنند (Hashem et al., 2019). در واقع در گیاهان مایکوریزایی، هیف‌های قارچی اطراف ریشه توانایی نفوذ بیشتری را به منافذ خاک داشته و بنابراین دسترسی بیشتری جهت جذب املاح معدنی مانند فسفر پدید می‌آورند (Rahimzadeh and Pirzad, 2019) و علاوه بر این تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط هیف‌های مایکوریزا باعث می‌شود که فسفات غیرمحلول و تثبیت‌شده در خاک به فرم محلول در آمده و برای ریشه قابل جذب گردد (Ortas, 2019).

روغن بذر: نتایج بیش‌ترین مقدار روغن $24/6 \pm 0/21$ درصد را در گیاهان تلقیح‌شده‌ای که تحت رژیم آبیاری ۶۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک رشد یافته بودند، نشان داد. نتایج کاهش محتوای روغن بذر را در گیاهان تلقیح‌نشده تحت رژیم آبیاری ۶۰٪ و ۹۰٪ آب قابل استفاده خاک نشان داد (جدول ۴). افزایش درصد روغن در گیاهان تلقیح‌شده رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) و آویشن (*Thymus vulgaris*) در شرایط کم‌آبی نیز گزارش شده است (Pirzad and Mohammadzadeh, 2018). در واقع مایکوریزا با افزایش بیوسنتز فیتوشیمیایی، تحریک فتوسنتز، جذب مواد مغذی و با تغییر در متابولیسم‌های سلول‌های باعث تبدیل ساکارز به

منابع

۱. افکاری، ا. (۱۳۹۸) تأثیر تلقیح بذر با قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر برخی شاخص‌های بیوشیمیایی و جوانه‌زنی بذر ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ تحت تنش خشکی. علوم و فناوری بذر ایران ۸: ۲۶۴-۲۵۳.
- پراور، آ.، ملکی فراهانی، س. و رضازاده، ر. (۱۳۹۷) اثر تنش خشکی در زمان تشکیل بذر بر بنیه، پراکسیداسیون غشا، و فعالیت آنتی‌اکسیدان در گونه‌های مختلف بالنگو. به‌زراعی کشاورزی ۲۰: ۱۹۵-۱۴۵.
- پراور، آ.، ملکی فراهانی، س. و رضازاده، ر. (۱۳۹۶) تأثیر تنش رطوبتی بر پایه مادری در زمان تشکیل بذر بر بنیه بالنگو شهری و بالنگو شیرازی و مقاومت به تنش شوری و خشکی. علوم تحقیقات و بذر ایران ۴: ۲۶-۱۳.
- شفق کلوانق، ج. و دست برهان، س. (۱۳۹۶) بالنگو شهری یا قره قرک، گیاه دارویی و چند منظوره با قابلیت فراوان در کشت انتظاری پاییز و زراعت دیم بهار. مجموعه مقالات دومین همایش ملی گیاهان دارویی دیم ایران، ارومیه، ایران.

- شهبازی دورباش، ص.، عزیزاده یزج، خ. و فتحی رضایی، و. (۱۳۹۱) بررسی امکان کشت توده‌های بومی بالنگو شهری در شرایط دیم سردسیری مراغه. علوم کشاورزی دیم ایران ۱: ۸۲-۹۵.
- قاسمیان، و.، شفق کلوانق، ج. و پیرزاد، ع. (۱۳۹۷) پاسخ اکوفیزیولوژیکی گیاهان مایکوریزایی بالنگو شهری به سطوح مختلف آبیاری. دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۸: ۲۴۷-۲۶۲.
- قاسمیان، و.، شفق کلوانق، ج. و پیرزاد، ع. (۱۳۹۶) اثر تیمارهای کودی و رژیم‌های آبیاری بر عملکرد و ترکیبات موسیلاژ دانه بالنگو شهری. دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۷: ۱۷-۳۱.
- کریمی جلیله وندی، ط.، ملکی فراهانی، س. و رضازاده، ع. (۱۳۹۸) بررسی اثر تاریخ کاشت و کود شیمیایی بر محتوای فلاونوئید دانه و خصوصیات کمی و کیفی دانه بالنگو شیرازی. گیاهان دارویی و معطر ایران ۳۵: ۱۰۷۵-۱۰۵۸.
- کریمی جلیله وندی، ط.، ملکی فراهانی، س. و رضازاده، ع. (۱۳۹۶) بررسی اثر تاریخ کاشت و کود شیمیایی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه و بیه بذر بالنگو شیرازی. گیاهان دارویی و معطر ایران ۳۳: ۱۲۶-۱۳۸.
- Abdollahi, M. and Maleki Farahani, S. (2019) Seed quality, water use efficiency and eco physiological characteristics of *Lallemantia* (*Lallemantia* sp.) species as effected by soil moisture content. *Acta Agriculturae Slovenica* 113: 307-320.
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E. (2001) The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant Cell and Environment* 24: 1337-1344.
- Al-Snafi, A. E. (2019) Medical benefit of *Lallemantia iberica*. A review. *To Chemistry Journal* 3: 97-102.
- Alghamdi, A. (2019) Influence of mycorrhizal fungi on seed germination and growth in terrestrial and epiphytic orchids. *Saudi Journal of Biological Sciences* 26: 495-502.
- Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1.
- Askari, A., Ardakani, M. R., Paknejad, F. and Hosseini, Y. (2019) Effects of mycorrhizal symbiosis and seed priming on yield and water use efficiency of sesame under drought stress condition. *Scientia Horticulturae* 257: 108749.
- Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Dehnavi, M. M. and Salehi, A. (2019) Improvement of *Echinacea purpurea* performance by integration of phosphorus with soil microorganisms under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management* 221: 238-247.
- Bahramparvar, M., Haddad khodaparast, M. H. and Razavi, S. M. (2009) The effect of *Lallemantia royleana* (Balangu) seed, palmate-tuber salep and carboxymethylcellulose gums on the physicochemical and sensory properties of typical soft ice cream. *International Journal of Dairy Technology* 62: 571-576.
- Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F. and Come, D. (1998) Free radical scavenging as affected by accelerated ageing and subsequent priming in sunflower seeds. *Physiologia Plantarum* 104: 646-652.
- Buba, T. and Muhammad, S. Y. (2020) Combine effects of soil nutrient levels and mycorrhiza inoculums from soils under *parkia biglobosa* and *tamarindus indica* on chlorophyll content of some cereal and legume crops. *Scientific African* 8: e00369.
- Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.
- Ebone, L. A., Caverzan, A. and Chavarria, G. (2019) Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. *Plant Physiology and Biochemistry* 145: 34-42.
- Ebrahimian, E., Seyyedi, S. M., Bybordi, A. and Damalas, C. A. (2019) Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management* 218: 149-157.
- Geshnizjani, N., Sarikhani Khorami, S., Willems, L. A., Snoek, B. L., Hilhorst, H. W. and Ligterink, W. (2019) The interaction between genotype and maternal nutritional environments affects tomato seed and seedling quality. *Journal of Experimental Botany* 70: 2905-2918.
- Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., Moghaddam, S. S. and Popovic-Djordjevic, J. (2020) Effect of mycorrhizal inoculation in reducing water stress in sesame (*Sesamum indicum* L.): The assessment of agrobiochemical traits and enzymatic antioxidant activity. *Agricultural Water Management* 238: 106234.
- Hashem, A., Kumar, A., Al-Dbass, A. M., Alqarawi, A. A., Al-Arjani, A. B. F., Singh, G., Farooq, M. and Abd_Allah, E. F. (2019) Arbuscular mycorrhizal fungi and biochar improves drought tolerance in *chickpea*. *Saudi Journal of Biological Sciences* 26: 614-624.

- Kalyanasundaram, N. (1982) Nitrogen need of *Plantago ovata* Forsk in relation to the available nitrogen in soil. 52: 240-242.
- Mehrabi, Y., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A., Mohatashami, R. and Hamidia, M. (2020) Improving physiological traits, yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.) via application of phosphorus bio-fertilizers and supplementary irrigation under dryland condition. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 35: 1044-1056.
- Omidi, H., Shams, H., Sahandi, M. S. and Rajabian, T. (2018) Balangu (*Lallemantia* sp.) growth and physiology under field drought conditions affecting plant medicinal content. Plant Physiology and Biochemistry 130: 641-646.
- Ortas, I. (2019) Under filed conditions, mycorrhizal inoculum effectiveness depends on plant species and phosphorus nutrition. Journal of Plant Nutrition 42: 2349-2362.
- Ortas, I. and Bykova, A. (2018) The effect of mycorrhiza inoculation and phosphorus application on phosphorus efficiency of wheat plants. Communications in Soil Science and Plant Analysis 49: 1199-1207.
- Pawar, P. B., Khadilkar, J. P., Kulkarni, M. V. and Melo, J. S. (2018) An approach to enhance nutritive quality of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seed oil through endo mycorrhizal fertigation. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 14: 18-22.
- Pawlowski, M. L., Vuong, T. D., Valliyodan, B., Nguyen, H. T. and Hartman, G. L. (2020) Whole-genome resequencing identifies quantitative trait loci associated with mycorrhizal colonization of soybean. Theoretical and Applied Genetics 133: 409-417.
- Polcyn, W., Paluch-Lubawa, E., Lehman, T. and Mikula, R. (2019) Arbuscular mycorrhiza in highly fertilized maize cultures alleviates short-term drought effects but does not improve fodder yield and quality. Frontiers in Plant Science 10: 496.
- Porras-Alfaro, A. and Bayman, P. (2007) Mycorrhizal fungi of Vanilla: Diversity, specificity and effects on seed germination and plant growth. Mycologia 99: 510-525.
- Rahimzadeh, S. and Pirzad, A. (2019) Pseudomonas and mycorrhizal fungi co-inoculation alter seed quality of flax under various water supply conditions. Industrial Crops and Products 129: 518-524.
- Rashid, M., Hampton, J. G., Rolston, M. P., Trethewey, J. A. and Saville, D. J. (2018) Forage rape (*Brassica napus* L.) seed quality: Impact of heat stress in the field during seed development. Field Crops Research 17: 172-179.
- Sharifi, S. Y. and Sharifi, S. R. (2019) The effect of biofertilizer application on yield, oil content and activity of *Helianthus annuus* L. antioxidant enzymes in irrigation cessation treatments. Plant Process and Function 8: 97-107.
- Su, J., Wang, X., Song, W., Bai, X. and Li, C. (2016) Reducing oxidative stress and hepatoprotective effect of water extracts from pu-erh tea on rats with high-fat diet. Food Science and Human Wellness 5: 199-206.
- Visavadiya, N. P., Soni, B. and Dalwadi, N. (2009) Free radical scavenging and antiatherogenic activities of sesamum indicum seed extracts in chemical and biological model systems. Food and Chemical Toxicology 47: 2507-2515.
- Wang, N., Cao, F., Richmond, M. E. A., Qiu, C. and Wu, F. (2019) Foliar application of betaine improves water-deficit stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). Plant Growth Regulation 89: 109-118.
- Zlatanov, M., Antova, G., Angelova-Romova, M., Momchilova, S., Taneva, S. and Nikolova-Damyanova, B. (2012) Lipid structure of *Lallemantia* seed oil: A potential source of omega-3 and omega-6 fatty acids for nutritional supplements. Journal of the American Oil Chemists' Society 89: 1393-1401.

The effect of mycorrhiza on catalase enzyme activity and growth and qualitative characteristics of Lady's mantle (*Lallemantia royleana*) under deficit irrigation

Arezoo Paravar¹, Saeideh Maleki Farahani^{*1} and Alireza Rezazadeh²

¹Department of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

²Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

(Received: 06/03/2021, Accepted: 27/04/2021)

Abstract

In order to investigate the effect of mycorrhiza on catalase enzyme activity and growth and qualitative characteristics of Lady's mantle (*Lallemantia royleana*) under stressed irrigation, experiment based on randomized complete block design (RCBD) was conducted with three replications at Research Farm of the Agricultural College of Shahed University in 2018 through 2019. Experiment treatments included three irrigation regimes (30%, 60% and 90% depletion of available soil water) and mycorrhiza fertilizer (inoculation and non-inoculation). Germination percentage and germination rate, catalase enzyme activity, grain yield, biomass as well as seed qualitative characteristics decreased by increasing water deficit. The maximum resistance and best responses of plants were observed at 60% irrigation regime. Mycorrhizal inoculation had a significant positive and increasing effect on the catalase enzyme activity, germination traits and qualitative characteristics of Lady's mantle compared to those of non-inoculation plants. The lowest growth, yield, and catalase enzyme activity and qualitative characteristics were observed in non-inoculation plants at 90%. Plants inoculated had more percentage germination (100%), germination rate, seed yield (1333.75 kg / ha), chlorophyll content, percentage of mucilage, phosphorus seed oil and catalase enzyme activity under 60% depletion available soil water compared to non-inoculated plants under other irrigation regimes. Therefore, it can be concluded that Lady's mantle has shown a positive response to symbiosis with mycorrhizal fungi under drought stress.

Keywords: Grain yield, Seed mucilage, Seed oil, Seed phosphorus, Seed germination

Corresponding author, Email: maleki@shahed.ac.ir