پژوهش‌های بذر ایران/ سال نهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۱/ صفحات: ۱۵۰-۱۳۳

مقاله پژوهشی

اثر تغذیه و رطوبت خاک گیاه مادری بر کیفیت و خصوصیات بیوشیمیایی بذر بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*)

آرزو پراور[1*]، سعیده ملکی فراهانی[1]، علیرضا رضازاده[2]

چکیده مبسوط

مقدمه: بالنگو شهری گیاهی یکساله، متعلق به خانواده نعناعیان است. امروزه بذر آن به دلیل دارا بودن موسیلاژ و روغن زیاد در صنایع غذایی و دارویی کاربرد فراوان دارد. رطوبت خاک، تغذیه، نور و دما محیط مادری در رشد گیاهان نقش مهمی دارند، اما در زمان رشد و نمو بذر، اثر رطوبت خاک بر عملکرد و خصوصیات کیفی بذر بیشتر است. اثرات مثبت تغذیه گیاه مادری با کود مایکوریزا می‌تواند بر بهبود کیفیت بذر نمو یافته در شرایط کم آبی مؤثر باشد. علت بهبود کیفیت بذرهای نمو یافته در شرایط تلقیح مایکوریزا، تعادل آبی آن‌ها در شرایط کم آبی و در نتیجه جذب بیشتر آب و عناصر غذایی گزارش شده است. جذب عناصر غذایی توسط گیاه مادری می‌تواند نقش به سزایی در بهبود جوانه‌زنی و خصوصیات کیفی بذرهای نمو یافته در شرایط تنش خشکی داشته باشد.

مواد و روش‌ها: آزمایش مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم آبیاری (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک) و کود مایکوریزا (عدم تلقیح و تلقیح) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد با کاهش محتوای رطوبتی خاک محیط مادری سبب کاهش جوانه‌زنی بذر و شاخص کیفیت بذر تولیدی شد. میزان درصد جوانه‌زنی (۵۱/۲۰٪) و سرعت جوانه‌زنی (۷٪)، شاخص بنیه بذر (۲۷/۷۰٪)، طول گیاهچه (۲۸/۳٪)، وزن خشک گیاهچه (۳۴/۸۰٪)، موسیلاژ بذر (۷۵/۴۰٪)، فسفر (۴۵/۵٪) و نیتروژن بذر (۲۷/۳۰٪)، روغن بذر (۱۴/۶۰٪)، فعالیت آنزیم کاتالاز (۳۵/۲۵٪) و آسکوربات پراکسیداز (۲۵/۷۰٪) بذرهای نمو یافته در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک و کود مایکوریزا نسبت به شاهد (رژیم آبیاری ۳۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک و بدون کود مایکوریزا) افزایش یافت. در مقایسه با رژیم آبیاری ۳۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک و بدون کود مایکوریزا، متوسط زمان جوانه‌زنی (۱۷٪) و پراکسیداسیون لیپید (۴۱/۱۰٪) رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک و بدون کود مایکوریزا افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج این مطالعه، کاهش رطوبت خاک بیشتر از ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک گیاه مادری منجر به کاهش کیفیت بذر شد، اما تغذیه گیاه مادری با تلقیح مایکوریزا به دلیل جذب آب و عناصر غذایی، نقش مؤثری بر بهبود و افزایش کیفیت بذرهای نمو یافته در شرایط کم آبی داشت.

واژه‌های کلیدی: بالنگو شهری، جوانه‌زنی، روغن بذر، مایکوریزا، کم‌آبی

جنبه‌های نوآوری:

۱- شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه، خصوصیات کیفی و بیوشیمیایی بذرهای نمو یافته بالنگو شهری در شرایط مختلف آبیاری بررسی گردید.

۲- تاثیر مایکوریزا بر میزان جذب عناصر غذایی و محتوای روغن، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بذرهای نمو یافته تحت رژیم‌های مختلف آبیاری بررسی شد.

۳- میزان آسیب وارد به ساختار لیپید سلولی در بذرهای نمو یافته در رژیم‌های متفاوت آبیاری و کود مایکوریزا بررسی شد.

[1] گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران

[2] گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران

[*] رایانامه نویسنده مسئول: Arezoo.Paravar@shahed.ac.ir

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1401.9.2.7.0

DOI: 10.61186/yujs.9.2.133

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۵)

مقدمه

بذر به عنوان نقطه شروع چرخه زندگی گیاهان، از دیرباز مورد توجه بوده و نقش کلیدی در تولید بسیاری از محصولات گیاهی دارد. بذری که با کیفیت باشد استقرار مناسب گیاه را در داخل خاک مزرعه تضمین می‌کند. بنابراین هدف تولید کنندکان و کشاورزان، تولید بذری است که از نظر فیزیولوژیکی، فیزیکی، ژنتیکی و بهداشتی بالاترین کیفیت را دارا باشد (گشنیزجانی[1] و همکاران، ۲۰۱۹).کیفیت بذر توسط عوامل ژنتیکی، ظرفیت جوانه‌زنی، یکنواختی، بنیه بذر، ماندگاری و عملکرد حداکثری تعیین می‌شود (بکله[2] و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر این که عوامل ژنتیکی گیاه مادری، کیفیت بذر را بطور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهند، عوامل محیطی گیاه مادری (رطوبت خاک، تغذیه، نور و دما) هم می‌توانند نقش به سزایی بر کیفیت بذر نمو یافته داشته باشند (گشنیزجانی و همکاران، ۲۰۱۹).

در میان همه محیط‌های مادری از قبیل رطوبت خاک، تغذیه، نور و دما، بیشترین نیاز گیاه به رطوبت خاک است. به دلیل اینکه این محیط مادری در زمان رشد و نمو بذر بیشترین تأثیر را بر عملکرد و خصوصیات کیفی بذر می‌گذارد (گشنیزجانی و همکاران، ۲۰۱۹). با کاهش رطوبت خاک در مرحله نمو بذر، گیاه مادری ممکن است قادر نباشد رطوبت مورد نیاز خود را از لایه-های عمیق خاک که عناصر غذایی ضرروی در آن‌ها نهفته است، استخراج کند (یانگ[3] و همکاران، ۲۰۱۹)، با کاهش رطوبت خاک، گرده‌افشانی، طول دوره زایشی و میزان فتوستز جاری در گیاه مادری کاهش یافته که نتیجه آن کاهش اندوخته‌های غذایی ذخیره شده درون بذر است (پراور [4]و همکاران، ۲۰۲۱a). گزارش شده است که بذرهای ریز، آسیب دیده و با اندوخته‌های غذایی پایین میزان جوانه‌زنی کمتری دارند (تومپا[5] و همکاران، ۲۰۲۱). یکی از پیامدهای مهم کاهش رطوبت خاک، تولید گونه‌های فعال اکسیژن است که منجر به وقوع تنش اکسیداتیو شده که می‌تواند اثرات مخربی بر متابولیسم و ساختارهای سلولی گیاه مادری در مرحله‌ی نمو بذر بگذارد (لیو[6] و همکاران، ۲۰۱۹). در شرایط کم آبی، گونه‌های فعال اکسیژن شامل رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل، یون‌های سوپر اکسید و پراکسید هیدروژن افزایش یافته و باعث ایجاد اثرات مخرب بر ساختار لیپید سلولی و اندامک‌ها، اکسیداسیون پروتئین‌ها، بازدارندگی آنزیم و تخریب اسیدهای نوکلئیک در شرایط کم آبی می‌شود (بای[7] و همکاران، ۲۰۲۰) گزارش شده است کم شدن رطوبت خاک محیط مادری کاملینا[8]، متابولیت‌های ثانویه و درصد اسیدهای چرب را تحت تأثیر قرار داده و منجر به کاهش محتوای موسیلاژ و روغن بذر شده است (امیری-دربن[9] و همکاران، ۲۰۲۰). اما در مرحله نمو بذر، گیاه مادری می‌تواند از طریق سامانه‌های دفاعی آنزیمی و غیر آنزیمی با گونه‌های فعال اکسیژن مقابله کند و سبب کاهش خسارت‌های حاصل از تنش خشکی شود (بای و همکاران، ۲۰۲۰)

همواره انسان روش‌هایی را برای بهبود و افزایش کیفیت بذر گیاهان مورد بررسی قرار می‌دهد که یکی از این روش‌ها، حاصل‌خیزی خاک است. حاصل‌خیزی خاک و تغذیه مناسب گیاه مادری می‌تواند بر عملکرد کمی و کیفی بذرهای نمو یافته تاثیرگذار باشد (یانگ، ۲۰۱۸). کود، ترکیبی غنی از مواد مغذی ضروری است که کشاورزان به منظور بهبود و حاصلخیزی خاک، افزایش رشد و عملکرد محصولات گیاهی استفاده می-کنند. افزودن مواد غذایی نظیر کودهای زیستی (قارچ-های مایکوریزا) نقش مهمی در بهبود رشد گیاه مادری در شرایط کم آبی دارند، به دلیل اینکه در شرایط کمبود آب دسترسی گیاه مادری را به مواد مغذی فراهم کرده و بر بهبود کیفیت خاک و بذر تأثیر می‌گذارد (پراور و همکاران، ۲۰۲۱a). نتایج تحقیقات نشان داده است که قارچ‌های مایکوریزا قادر هستند اثرات نامطلوب تنش

[1] Geshnizjani
[2] Bekele
[3] Yang
[4] Paravar
[5] Tumpa
[6] Liu
[7] Bai
[8] *Camelina sativa*
[9] Amiri-Darban

خشکی را در گیاهان مادری تعدیل نمایند (پلوزنیکوف[1] و همکاران، ۲۰۱۹). در واقع قارچ مایکوریزا آرباسکولار[2] برای جذب کربن با ریشه‌های گیاه مادری رابطه همزیستی برقرار می‌کنند، به دلیل اینکه کربن باعث رشد آن‌ها شده و چرخه زندگی قارچ را نیز تکمیل می‌نماید (پراور و همکاران، ۲۰۲۲). در مقابل بهبود ساختار خاک و جذب عناصر غذایی توسط قارچ‌های مایکوریزا، موجب بهبود خصوصیات کیفی بذرهای نمو یافته در شرایط کم آبی می‌شود (پیرزاد و محمدزاده[3]، ۲۰۱۸).

بالنگو شهری[4] گیاهی یکساله، ارزشمند از تیره نعناعیان[5] است که از قدیم در طب سنتی بذر آن به علت بالا بودن محتوای روغن و موسیلاژ، مورد استفاده قرار می‌گرفت (عبدالهی و ملکی فراهانی[6]، ۲۰۱۹). روغن روغن این گیاه در کاهش چربی و کلسترول خون، نقش مؤثری دارد. همچنین موسیلاژ این گیاه به دلیل سوسپانسیون و امولسیون بالایی که دارد در صنعت دارویی و بستنی‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (امیدی[7] و همکاران، ۲۰۱۸). اگرچه بالنگو شهری جزء گیاهان دارویی محسوب می‌شود، اما به دلیل بالا بودن محتوای روغن آن، امروزه به عنوان یک گیاه روغنی نیز کشت می‌شود (پراور و همکاران، ۲۰۲۱a). بنابراین اولین قدم برای استفاده از بذرهای بالنگو شهری بهبود کیفیت آن در شرایط کشت گیاه مادری است. باتوجه به اینکه تحقیقات چندانی در ارتباط با تأثیر تغذیه و رطوبت خاک گیاه مادری بر خصوصیات کیفی و بیوشمیایی بذر بالنگو شهری صورت نگرفته است، این آزمایش با هدف تعیین اثر بخشی تغذیه گیاه مادری با تلقیح کود مایکوریزا بر بهبود خصوصیات جوانه‌زنی، رشد گیاهچه، خصوصیات کیفی و بیوشیمیایی بذرهای نمو یافته بالنگو شهری در شرایط کم آبی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

برای اجرای آزمایش حاضر، از بذرهای حاصل از آزمایش مزرعه‌ای اجرا شده در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ استفاده گردید. آزمایش در مزرعه بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل‌ها شامل رژیم آبیاری (آبیاری بعد از ۳۰، ۶۰ و ۹۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک) و کود مایکوریزا (عدم تلقیح و تلقیح) بود.

بذرهای بالنگو شهری (*Lallemantia iberica* (M.B.) Fisher & Meyer)) با کد اکوتیپ ۴۲۵ با وزن هزار دانه پنج گرم، با خلوص ۹۵ درصد و ۹۷ درصد قوه نامیه از مزرعه زرین گیاه آذربایجان غربی تهیه گردید. کشت بذر بالنگو شهری در ۱۵ آبان ۱۳۹۷ و ۲۰ آبان ۱۳۹۸ انجام شد.

مایه تلقیح مایکوریزا ترکیبی از سه گونه قارچ رایزوفاگوس اینترارادیسز[8]، کلاروادیو گلوموس[9]، فونلی فونلی فورمیس موسه آ[10] بود که از بخش میکروبی موسسه آب و خاک تهران تهیه شد. تعداد تقریبی اسپور قارچ در هر گرم خاک بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ عدد بود. قارچ‌های مایکوریزا به مقدار ۲۰ گرم در متر طولی و قبل از کاشت بذر با ایجاد شیار در کنار خطوط کاشت و ۲ سانتی‌متر پایین‌تر از محل استقرار بذر قرار گرفتند (پیرزاد و محمدزاده، ۲۰۱۸).

در ابتدای آزمایش و تا زمان استقرار کامل گیاه، آبیاری برای کلیه تیمارها به صورت یکسان صورت گرفت. تیمارهای آبیاری پس از استقرار کامل گیاه (مرحله ۸ تا ۱۲ برگی) 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 هرکرت اصلی، یک کرت فرعی به طور 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

[1] Plouznikoff
[2] Arbuscular mycorrhizal fungi
[3] Pirzad and Mohammadzadeh
[4] *Lallemantia iberica*
[5] *Lamiaceae*
[6] Abdollahi and Maleki Farahani
[7] Omidi
[8] *Rhizophagus intraradices*
[9] *Claroideoglomus etunicatum*
[10] *Funneliformis mossea*

۳۰ سانتی‌متر) توسط اوگر[1] نمونه‌برداری شد. بدین-وسیله 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 بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد (عبدالهی و ملکی فراهانی، ۲۰۱۹)

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

In حجم آبیاری بر حسب 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 بر اساس مترمربع. میزان حجم آب مصرفی با استفاده از کنتور به طور دقیق اندازه‌گیری و اعمال شد.

خصوصیات کیفی بذر

موسیلاژ بذر

جهت اندازه‌گیری میزان موسیلاژ، یک گرم بذر خشک با ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال تا تغییر رنگ پوسته بذر حرارت داده شد. محلول موسیلاژی حاصل جدا گردید و بذرها دوبار با پنج میلی-لیتر 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 قرار دادن آن به مدت پنج ساعت در یخچال رسوب موسیلاژی به‌دست آمد، که پس از صاف کردن، در آون در درجه حرارت ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت قرار گرفت و سپس توزین گردید و مقدار موسیلاژ بر حسب گرم در هر گرم بذر تعیین و به صورت درصد ثبت شد (شارما و کول[2]، ۱۹۸۶).

روغن بذر

برای اندازه‌گیری روغن بذر به مقدار پنج گرم بذرهای بالنگو شهری پودر شدند و روغن بذر در محلول هگزان با استفاده از دستگاه سوکسله[3] استخراج شد. ۱۵۰ میلی‌لیتر از حلال هگزان در سوکسله ریخته شد و سپس بذرهای پودر شده اضافه گردید. این روند تراکم تبخیر به مدت ۱۰ ساعت ادامه یافت و پس از برداشتن حلال هگزان، روغن استخراج شد (ویساوادیا[4] و همکاران، ۲۰۰۹).

نیتروژن و فسفر بذر

تجزیه فیزیک و شیمیایی لازم جهت تعیین مقدار نیتروژن و فسفرانجام شد. ابتدا یک گرم از نمونه‌ها وزن گردید و به لوله‌های هضم منتقل شد. سپس به محتویات هر لوله ۲/۵ گرم سولفات پتاسیم و ۰/۵ گرم سولفات مس به عنوان کاتالیزور اضافه شد و سپس ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ (۹۸٪) به آن اضافه گردید و لوله‌ها بر روی اجاق هضم در دمای ۶۵۰-۶۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. پس از سرد شدن نمونه‌ها، حدود ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه گردید. سپس نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی به بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتر صاف شدند و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. برای اندازه‌گیری نیتروژن، ۲۵ میلی‌لیتر عصاره حاصل شده از مرحله هضم، داخل بالن دستگاه کجلدال ریخته شد و با استفاده از پتاسیم هیدرید و اسید بوریک ۰/۲ درصد مرحله تقطیر انجام شد و آمونیاک آزادشده سپس با تقطیر خارج و توسط اسید بوریک جمع‌آوری شد. محلول بدست آمده نیز با استفاده از اسیدکلریدریک ۰/۰۱ درصد و اسید نرمال تیتر شد. و بعد از مرحله تیتراسیون میزان نیتروژن با استفاده از کجلدال ارزیابی شد (کنی[5]، ۱۹۸۲). برای اندازه‌گیری فسفر، ۲ میلی‌لیتر از نمونه فیلتر شده با ۱۰ میلی‌لیتر مولیبدات آمونیوم ، ۲ میلی‌لیتر محلول اسید اسکوربیک و حدود ۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد و

[1] Auger
[2] Sharma and Koul
[3] Soxhlet
[4] Visavadiya
[5] Keeney

به مدت ۳۰ دقیقه توسط بن ماری گرم شد. غلظت فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Lambda25، Perkin Elmer، USA) در طول موج ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (استافین[1]، ۱۹۶۷).

شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه

به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد، ۵۰ عدد بذر تیمار شده در شرایط مزرعه در پتری‌های سترون روی کاغذ واتمن شماره ۱ قرار داده شد و به هر ظرف پتری حدود ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد و سپس 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. در نمونه‌ها ۱۴ روز پس از شروع آزمایش صفات جوانه-زنی، سرعت جوانه زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر اندازه‌گیری شد (عقیقی شاهوردی[2] و همکاران، ۲۰۱۹).

درصد جوانه‌زنی

معیار برای جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر بود (ایستا[3]، ۲۰۱۳) درصد جوانه‌زنی[4] از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$GP=n/N\times100$$ رابطه ۱

که در آن GP درصد جوانه زنی، n تعداد نهایی بذرهای جوانه زده و N تعداد بذرهای کشت شده است.

سرعت جوانه‌زنی

برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی[5] از رابطه ۲ استفاده شد.

$$GR=\sum ni/ti$$ رابطه ۲

که در آن GR سرعت جوانه‌زنی، $\sum ni$ مساوی مجموع کل بذهای جوانه زده تا پایان آزمایش است و $\sum ti$ برابر مجموع زمان بر حسب ساعت از شروع آزمایش جوانه‌زنی تا پایان آزمایش است.

متوسط زمان جوانه‌زنی

برای محاسبه متوسط زمان جوانه‌زنی[6] از رابطه ۳ استفاده گردید.

$$MGT==\sum(ti\times ni)/=\sum ni$$ رابطه ۳

که در آن MGT میانگین متوسط زمان جوانه‌زنی، ti زمان بر حسب ساعت از شروع آزمایش جوانه‌زنی، ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز.

شاخص بنیه بذر

شاخص بنیه بذر[7] از رابطه ۴ محاسبه شد.

رابطه ۴

طول گیاهچه × درصد جوانه‌زنی=شاخص بنیه بذر

طول و وزن خشک گیاهچه

از هر تیمار پنج نمونه انتخاب و طول گیاهچه بر حسب سانتی‌متر با خط‌کش اندازه‌گیری شد. در پایان آزمایش نمونه‌ها در دمای ۷۲ درجه سلسیوس در آون به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و وزن خشک گیاهچه از هر تکرار با ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۰۱ گرم توزین گردید (پراور و همکاران، ۲۰۱۸).

خصوصیات بیوشمیایی بذر

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

اندازه‌گیری خصوصیات بیوشمیایی بذر قبل از خروج ریشه‌چه (در انتهای مرحله دوم آبنوشی) انجام شد. به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، ابتدا عصاره آنزیمی استخراج گردید. ۰/۵ گرم از بذر منجمد شده در بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی‌مولار حاوی پلی وینیل پیرولیدون[8] ۱ درصد و اتیلن‌دی‌آمین تترااستیک اسید[9] اسید[9] (EDTA) یک میلی‌مولار همگن گردیدند.

[1] Stuffins
[2] Aghighi Shahverdi
[3] ISTA
[4] Germination percentage
[5] Germination rate
[6] Mean germination time
[7] Vigour index
[8] Polyvinylpyrrolidone
[9] Ethylenediaminetetraacetic acid

همگن‌های حاصل در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ و بخش رویی برای سنجش آنزیم مورد استفاده قرار گرفت (آلکسیو[1] و همکاران، ۲۰۰۱). بدین جهت، مخلوط واکنشی محتوی ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۱۵ میلی مولار پراکسیدهیدروژن و ۵۰ میلی-مولار بافر پتاسیم فسفات (۳۰ میلی‌مول بر لیتر وpH=۷) است. جذب پراکسید هیدروژن در مدت ۳۰ ثانیه در طول موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (بیلی[2] و همکاران، ۱۹۹۸). جهت اندازه‌گیری آنزیم آسکوربات پراکسیداز، میزان ۵۰ میکرولیتر از عصاره استخراج را با ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم (۰/۰۵ مولار با pH=۷) و۲۰ میکرولیتر آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار در حمام یخ مخلوط کرده و بلافاصله به آن ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه گردید. در نهایت با اضافه کردن ۱۰ میکرولیتر آسکوربات (اسید آسکوربیک) ۵۰ میکرو مولار منحنی تغییرات جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر به مدت ۱ دقیقه قرائت گردید (نکن و آسدا[3]، ۱۹۸۱). برای برای اندازه‌گیری پروتئین، مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره پروتئینی و پنج میلی‌لیتر معرف بیوره افزوده و سریع 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 آلبومن گاوی محاسبه گردید (برادفورد[4]، ۱۹۷۶).

پراکسیداسیون لیپید[5]

به منظور برآورد میزان پراکسیداسیون لیپید، میزان تولید مالون‌دی‌آلدئید در بذر اندازه‌گیری شد تا عملکرد سلول‌ها از نظر پراکسیداسیون لیپید بررسی شود. طبق این روش، ۰/۲۵ گرم بذر در هاون چینی حاوی پنج میلی‌لیتر تری کلرو استیک اسید ۰/۱ درصد ساییده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس یک میلی‌لیتر از محلول رویی مالون دی آلدهید سانتریفوژ شده که حاوی تری کلرو استیک اسید ۲۰ درصد بود با ۱میلی‌لیتر از تیورباربیتوریک اسید ۰/۵ درصد ، مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سلسیوس در حمام بن ماری حرارت داده شد. سپس بلافاصله در یخ سرد شده و دوباره مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. شدت جذب این محلول در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد (هئیث و پیکر[6]، ۱۹۶۸). پس از انجام آزمون بارتلت[7] و اطمینان از همگنی واریانس خطا، تجزیه مرکب برای هر دو سال آزمایش اجرا شده، انجام شد. تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار SAS 9.3.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

موسیلاژ بذر

نتایج تجزیه مرکب معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری، کود و رژیم آبیاری× کود بر مقدار موسیلاژ بذر را نشان داد (جدول ۱). کمترین میزان موسیلاژ (۱/۶۰ درصد) در بذرهای نمو یافته در رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک و بدون کود مایکوریزا مشاهده شد (شکل ۱الف). گزارش شده است که با کاهش شدید مقدار رطوبت خاک در گیاه مادری کتان[8] مقدار موسیلاژ موسیلاژ بذرهای نمو یافته کاهش یافت (رحیم‌زاده و پیرزاد[9]، ۲۰۱۹). علاوه‌براین کاهش میزان موسیلاژبذرهای نمو یافته در شرایط کم آبی ممکن است به دلیل کاهش تجمع کربوهیدرات ذخیره شده درون بذر باشد که نتیجه حاصل شده از فراورده‌های فتوسنتزی گیاه مادری هستند (پراور و همکاران، a۲۰۲۱). چون‌که موسیلاژ بذر گروهی از ترکیبات کربوهیدراتی است که مملو از پلی‌ساکاریدهاست (پراور و

[1] Alexieva
[2] Bailly
[3] Nakano and Asada
[4] Bradford
[5] Lipid Peroxidation
[6] Heath and Packer
[7] Bartlett test
[8] *Linum usitatissimum*
[9] Rahimzadeh and Pirzad

همکاران، ۲۰۲۱b). به طور کلی نتایج، بیشترین میزان موسیلاژ را در بذرهای نمو یافته شرایط کم آبی کود مایکوریزا نشان داد (شکل ۱الف). نتیجه بدست آمده مطابق با مطالعات انجام شده بر بالنگو شهری[1] (حیدری و پیرزاد[2]، ۲۰۲۱) و کتان (رحیم زاده و پیرزاد، ۲۰۱۹) است. گزارش کردند که دلیل افزایش میزان موسیلاژ بذرهای نمو یافته در شرایط کم آبی متوسط به دلیل تلقیح قارچ مایکوریزا است که جذب آب و عناصر غذایی را تسهیل کرده و منجر به بهبود فتوسنتز شده و در نتیجه میزان تجمع کربوهیدرات را در بذر نیز افزایش یافته است (پراور و همکاران، ۲۰۲۱b).

روغن بذر

نتایج تجزیه مرکب معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری، کود و رژیم آبیاری× کود، بر محتوای روغن بذر را نشان داد (جدول ۱). با توجه به نتایج بیشترین محتوای روغن (۳۳/۶۰ درصد) در بذرهای نمو یافته در شرایط رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک و کود مایکوریزا مشاهده شد اما با افزایش تخلیه آب قابل استفاده خاک (۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک) و بدون کود مایکوریزا، محتوای روغن (۲۷/۱۰ درصد) به کمترین مقدار خود رسید (شکل ۱ب) که با مطالعاتی که بر روی گیاه مادری کاملینا انجام شده بود، مطابقت داشت (برزو[3] و همکاران، ۲۰۲۱). این مطالعه نشان داد که کاهش محتوی روغن بذر کاملینا به دلیل کاهش مقدار فسفر بذر است. گزارش شده است که در شرایط کم آبی به دلیل کاهش طول ریشه، دسترسی ریشه به عناصر غذایی بخصوص فسفر کاهش می یابد (حیدری و پیرزاد، ۲۰۲۱). گزارش کردند که افزایش محتوی روغن بذرهای کنجد[4] نمو یافته در شرایط تلقیح شده به دلیل ارتباط همزیستی قارچ مایکوریزا با ریشه گیاه مادری است که سبب تسهیل در جذب عناصر غذایی بخصوص فسفر گردیده است (خادمیان[5] و همکاران، ۲۰۱۹) که در واقع قارچ مایکوریزا با افزایش جذب عنصر فسفر، نهاده‌های ضرروی آدنوزین تری فسفات[6] و نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید[7] را برای مسیر سنتز اسیدهای اسیدهای چرب را تامین می‌کند (ماتی‌ماران[8] و همکاران، ۲۰۱۷).

نیتروژن و فسفر بذر

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر رژیم آبیاری، کود و رژیم آبیاری× کود، بر محتوای نیتروژن و فسفر بذر معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین محتوای نیتروژن (۳/۸۵ میلی‌گرم/کیلوگرم) و فسفر بذر (۰/۶۶ میلی-گرم/کیلوگرم)، در بذرهای نمو یافته در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک و کود مایکوریزا مشاهده شد (شکل ۱ ج و ۱ د). که این نتایج براساس یافته‌های صورت گرفته روی بادرنجبویه[9] (قنبرزاده[10] و همکاران، ۲۰۲۰) بود که گزارش کردند با کاهش مقدار آب آبیاری خاک، مقدار فسفر و نیتروژن بذر کاهش یافت. گزارش شده است کاهش رطوبت خاک سبب می-شود که تعداد تارهای کشنده گیاه کاهش یافته و صدماتی بر ریخت‌شناسی ریشه و انشعابات ریشه صدمه وارد می‌شود که در نتیجه آن منجر به کاهش جذب عناصر غذایی به ویژه فسفر و نیتروژن به وسیله سیستم ریشه‌ای می‌شود (عسگری[11] و همکاران، ۲۰۱۹). بالا بودن محتوای فسفر و نیتروژن در بذرهای نمو یافته در شرایط کم آبی و کود مایکوریزا ممکن است به دلیل افزایش کلونیزاسیون ریشه در شرایط کم آبی باشد که سبب توسعه بیشتر ریشه‌های گیاه مادری بالنگو شهری در حجم وسیعی از منطقه ریزوسفری خاک شده که در نتیجه مواد غذایی بیشتری نظیر فسفر و نیتروژن در

[1] *Lallemantia iberica*
[2] Heydari and Pirzad
[3] Borzoo
[4] *Sesamum indicum*

[5] Khademian
[6] Adenosine triphosphate
[7] Nicotinamide adenine dinucleotide
[8] Mathimaran
[9] *Dracocephalummoldavica*
[10] Ghanbarzadeh
[11] Askari

دسترس گیاه مادری قرار بگیرد (پراور و همکاران، ۲۰۲۰a).

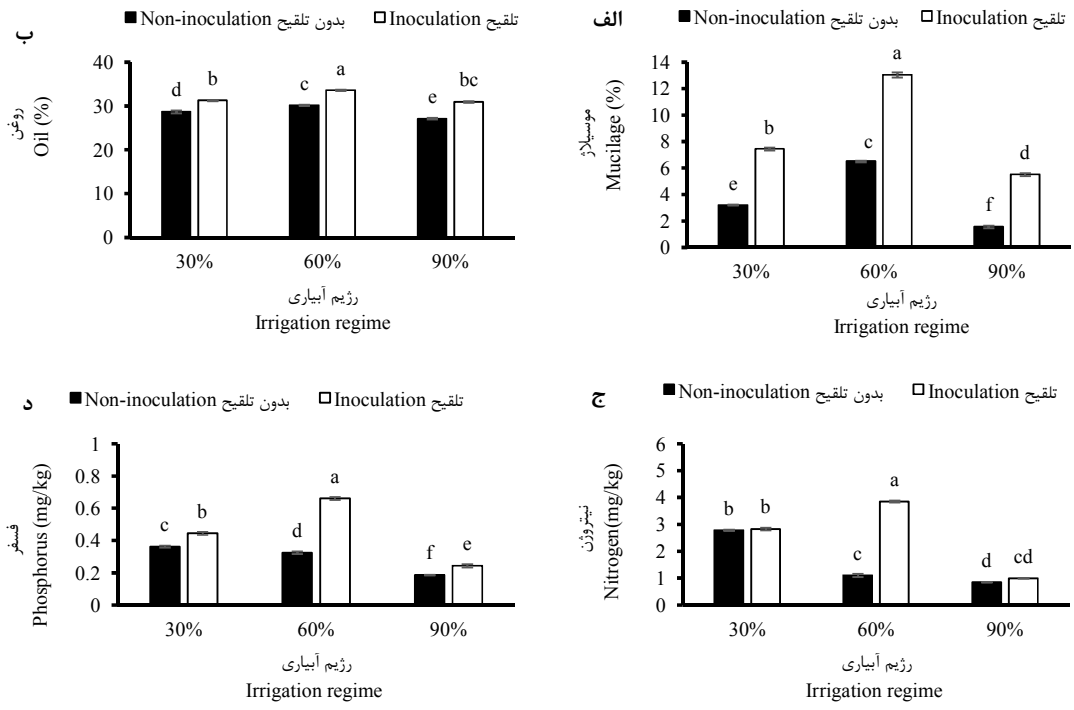
جدول ۱. تجزیه واریانس مرکب اثر سال، رژیم آبیاری و کود مایکوریزا بر خصوصیات کیفی بذر

Table 1. The combined analysis of variance for the effect of year, irrigation regime and mycorrhizal fertilizer on seed quality characteristics

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	موسیلاژ Mucilage	نیتروژن Nitrogen	فسفر Phosphorus	روغن Oil
سال Year (Y)	1	$0.01^{n.s}$	$0.002^{n.s}$	$0.0001^{n.s}$	$0.0029^{n.s}$
سال (تکرار) Y(Replication)	4	0.11	0.01	0.0006	0.57
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	2	123.85^{**}	17.31^{**}	0.24^{**}	8.45^{**}
Y×I	2	$0.02^{n.s}$	$0.002^{n.s}$	$0.0002^{n.s}$	$0.04^{n.s}$
خطا Error a	8	0.06	0.004	0.0005	0.52
مایکوریزا Mycorrhizal (M)	1	217.27^{**}	8.69^{**}	0.23^{**}	117.92^{**}
Y×M	1	$0.0007^{n.s}$	$0.0019^{n.s}$	$0.0003^{n.s}$	$0.1489^{n.s}$
I×M	2	5.96^{**}	1.87^{**}	0.07^{**}	8.36^{**}
Y×I×M	2	$0.004^{n.s}$	$0.002^{n.s}$	$0.0003^{n.s}$	$0.183^{n.s}$
خطا Error b	12	0.10	0.01	0.0004	0.25
C.V (%)		5.2	5.25	5.13	1.63

*، ** و n.s به ترتیب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.



شکل ۱. مقایسه میانگین موسیلاژ (الف)، روغن (ب)، نیتروژن (ج) و فسفر (د) بذرهای نمو یافته در شرایط کود مایکوریزا و رژیم آبیاری. میانگین-های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Fig. 1. Mean comparison of mucilage (a), oil (b), nitrogen (g) and phosphorus (d) of the seeds developed under mycorrhizal fertilizer and irrigation regime. Means followed by similar letters in each column are not significantly different at p< 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.

شاخص‌های جوانه‌زنی

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر رژیم آبیاری، کود و رژیم آبیاری× کود، بر شاخص جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان درصد جوانه‌زنی (۹۶ درصد) (شکل ۲الف)، سرعت جوانه زنی (۰/۰۸۲ برساعت) (شکل ۲ب)، بنیه بذر و کمترین متوسط زمان جوانه‌زنی (۲۳ ساعت) (جدول ۳) در بذرهای نمو یافته در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک و کود مایکوریزا مشاهده شد. کمتر شدن شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر در رطوبت خاک بالاتر ۶۰ درصد، به دلیل کاهش مقدار رطوبت خاک گیاه مادری است که منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش محتوای فتوسنتزی در گیاه مادری شده که در نتیجه انتقال مواد غذایی از منبع به مخزن کاهش یافته است (پاور[1] و همکاران، ۲۰۱۸). تحقیقات نشان داده است که بذرهایی که ریزتر و اندوخته غذایی کمتری دارند، میزان جوانه‌زنی و رشد کمتری دارند (فلوک و الوسولا[2]، ۲۰۲۰). بالاتر بودن میزان شاخص‌های جوانه-زنی در بذرهای نمو یافته بالنگو شهری در شرایط کود مایکوریزا و رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک احتمالاً به این دلیل است که قارچ‌های مایکوریزا با نفوذ ریسه‌های عمیق خود به اعماق خاک حجم بیشتری از خاک را در اختیار ریشه گیاه مادری قرار دادند و از این طریق عناصر غذایی بیشتری را در اختیار ریشه گیاه مادری تلقیح شده قرار داده است (برزو و همکاران، ۲۰۲۱). در واقع قارچ مایکوریزا با توجه به فرار بودن 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 بالا بودن مقدار این ذخایر موجب افزایش درصد و سرعت جوانه-زنی می‌شود (الگاحمدی[3]، ۲۰۱۹). علاوه بر این، گزارش شده است رشد و جوانه‌زنی بذر نیازمند انرژی فراوانی است که شکستن پیوندهای شیمیایی مواد ذخیره‌ای بذر از قبیل کربوهیدرات، چربی، پروتئین انرژی را طی تنفس آزاد می‌کند (ژئو[4] و همکاران، ۲۰۲۱). لذا به دلیل اینکه تلقیح مایکوریزا در چرخه انتقال عناصر غذایی نقش مؤثری دارد و با انتقال عناصر غذایی بیشتر، سبب ذخیره‌سازی بیشتری در بذرهای نمو یافته گیاه مادری می‌شود (پیرزاد و محمدزاده، ۲۰۱۸)، بنابراین بیشتر بودن این ترکیبات ذخیره‌ای موجب جوانه‌زنی و یکنواختی بهتری در بذرهای نمو یافته می‌شود (گائو [5] و همکاران، ۲۰۲۲).

شاخص رشدی گیاهچه

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر رژیم آبیاری، کود و رژیم آبیاری× کود، بر طول و وزن خشک گیاهچه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج بیشترین میزان طول (۱۰/۶ سانتی‌متر) و وزن خشک (۰/۰۶ میلی‌گرم) گیاهچه را در بذرهای نمو یافته در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک و کود مایکوریزا نشان داد (جدول ۳). علت کاهش وزن و خشک بذرهای نمو یافته بالنگو در تنش شدید ممکن است به دلیل کمتر بودن اندوخته‌های غذایی ذخیره شده درون بذر و کمبود انرژی برای رشد گیاهچه‌ها باشد (مونیش[6] و همکاران، ۲۰۲۱). گزارش شده است که کاهش رطوبت خاک گیاه مادری در دوره نمو بذر سبب کوتاه‌تر شدن دوره پر شدن بذر شده و منجر به کاهش وزن بذر می-شود (قلی‌نژاد[7] و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش شده است که بذرهای ریزتر به دلیل کمتر بودن اندوخته غذایی دارای میزان رشد و جوانه‌زنی کمتری هستند (یی[8] و همکاران، ۲۰۱۹). بالا بودن میزان طول و وزن خشک گیاهچه‌های حاصل شده از بذرهای نمو یافته در قارچ-های مایکوریزا به این دلیل است که مایکوریزا با برقراری

[1] Pawar
[2] Folake and Olusola
[3] Alghamdi
[4] Zhao
[5] Gao
[6] Muhsin
[7] Gholinezhad
[8] Yi

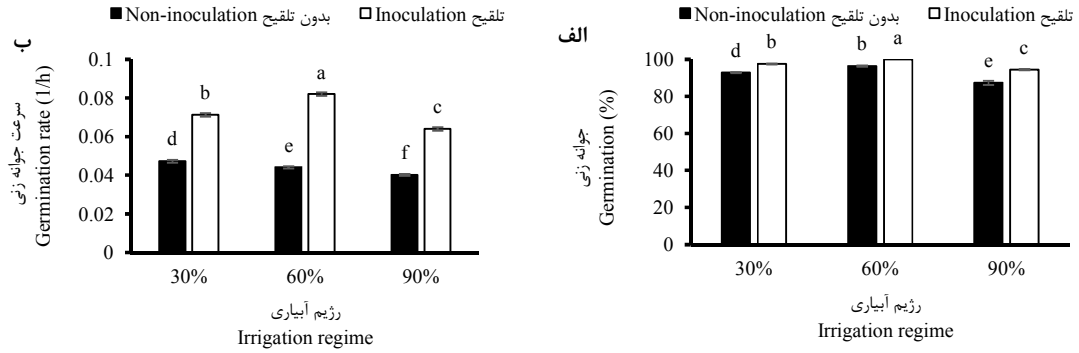
جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب برای اثر سال، رژیم آبیاری و کود مایکوریزا بر شاخص جوانه‌زنی و رشدی گیاهچه

Table 2. The combined analysis of variance for the effect of year, irrigation regime and mycorrhizal fertilizer on seed germination index and seedling growth

منابع تغییرات	درجه آزادی	جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	متوسط زمان جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر	طول گیاهچه	وزن خشک گیاهچه
Source of variation	df	Germination percentage	Germination rate	Mean germination time	Vigour index	Seedling length	Seedling weight
سال Year (Y)	1	$0.111^{n.s}$	$0.0000001^{n.s}$	$0.3^{n.s}$	$53^{n.s}$	$0.003^{n.s}$	0.0000016n.s
سال (تکرار) Y(Replication)	4	6.11	0.0000065	0.56	1949	0.14	0.0000011
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	2	27.44^{**}	0.0003746^{**}	22.44^{**}	94432^{**}	7.52^{**}	0.0001479**
Y×I	2	$0.78^{n.s}$	$0.0000004^{n.s}$	$0.04^{n.s}$	$78^{n.s}$	$0.01^{n.s}$	0.0000032n.s
خطا Error a	8	3.44	0.000005	0.47	573	0.02	0.0000008
مایکوریزا Mycorrhizal (M)	1	40.11^{**}	0.0073348^{**}	357.85^{**}	615352^{**}	54.51^{**}	0.0015734**
Y×M	1	$1.00^{n.s}$	$0.000001^{n.s}$	$0.003^{n.s}$	$19^{n.s}$	$0.01^{n.s}$	0.0000004n.s
I×M	2	12.11^{**}	0.000194^{**}	20.24^{**}	18416^{**}	1.83^{**}	0.0001098**
Y×I×M	2	$2.33^{n.s}$	$0.0000006^{n.s}$	$0.06^{n.s}$	1097n.s	$0.05^{n.s}$	0.0000004n.s
خطاb Error b	12	1.67	0.000003	0.35	311	0.04	0.000002
C.V (%)		1.31	3.09	2.91	2.11	2.3	4.19

*، ** و n.s به ترتیب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۲. مقایسه میانگین جوانه‌زنی (الف) و سرعت جوانه‌زنی (ب) بذرهای نمو یافته در شرایط کود مایکوریزا و رژیم آبیاری. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Fig. 2. Mean comparison of germination (a) and germination rate (b) of the seeds developed under of mycorrhizal fertilizer and irrigation regime. Means followed by similar letters in each column are not significantly different at $p<0.05$ probability level, The bars indicate the standard error of the means.

جدول۳. مقایسه میانگین بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشدی گیاهچه بذرهای نمویافته در شرایط کود مایکوریزا و رژیم آبیاری

Table 3. Mean comparison of indexes of germination and seedling growth of the seeds developed under mycorrhizal fertilizer and irrigation regime

تیمار Treatment		متوسط زمان جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر	طول گیاهچه	وزن خشک گیاهچه
رژیم آبیاری Irrigation regime	کود مایکوریزا Mycorrhizal fertilizer	Mean germination time (h)	Vigour index	Seedling Length (cm)	Seedling dry weight (mg)
30%	بدون تلقیح Non-inoculation	20.98±0.44c	769.72±7.11d	7.67±0.07d	0.03±0.01c
60%		17.57±0.05e	998.82±9.95b	9.95±0.1b	0.04±0.01b
90%		23.78±0.18b	713.8±8.08e	7.28±0.09d	0.03±0.01c
30%	تلقیح Inoculation	18.24±0.12d	835.41±13.77c	8.4±0.09c	0.04±0.01b
60%		15.34±0.25f	1064.63±8.17a	10.6±0.08a	0.06±0.01a
90%		25.3±0.23a	630.9±12.11f	6.62±0.08e	0.02±0.0d

حروف یکسان در هر ستون تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال پنج درصد را نشان می‌دهد که با آزمون دامنه چندگانه دانکن تجزیه و تحلیل شد.

Similar letters in each column show non-significant differences at $p<0.05$, analyzed by Duncan's multiple range test.

جدول ۴. تجزیه واریانس مرکب برای اثر سال، رژیم آبیاری و کود مایکوریزا بر خصوصیات بیوشمیایی بذر

Table 4. The combined analysis of variance for the effect of year, irrigation regime and mycorrhizal fertilizer on seed biochemical characteristics

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	آنزیم کاتالاز Catalase enzyme	آنزیم آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	پراکسیداسیون لیپید Peroxidation lipid
سال Year (Y)	1	$0.16^{n.s}$	$0.001^{n.s}$	$7^{n.s}$
سال (تکرار) Y(Replication)	4	0.16	0.01	0.47
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	2	2.59^{**}	1.91^{**}	255.77^{**}
Y×I	2	$0.04^{n.s}$	$0.01^{n.s}$	$0.83^{n.s}$
خطا Error a	8	0.27	0.05	5.29
مایکوریزا Mycorrhizal (M)	1	215.4^{**}	69.08^{**}	1764.42^{**}
Y×M	1	$0.01^{n.s}$	$0.02^{n.s}$	$0.07^{n.s}$
I×M	2	4.35^{**}	2.25^{**}	72.42^{**}
Y×I×M	2	$0.03^{n.s}$	$0.03^{n.s}$	$0.21^{n.s}$
Error bخطاb	12	0.13	0.05	3.23
C.V (%)		3.38	2.54	2.62

*، ** و n.s به ترتیب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.

رابطه همزیستی با ریشه‌های گیاه مادری، به اعماق خاک نفوذ کرده و حجم بیشتری از عناصر غذایی بخصوص فسفر و نیتروژن را جذب کرده و به گیاه مادری منتقل می‌کند و متعاقب آن این عناصر غذایی نیز در سنتز مواد ذخیره‌ای در بذر نقش ایفا کرده و انرژی بیشتری را برای رشد و جوانه‌زنی بذر فراهم می‌کنند (کندون[1] و همکاران، ۲۰۲۰).

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر رژیم آبیاری، کود و رژیم آبیاری× کود، بر فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان

[1] Kendon

معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین میزان فعالیت آنزیم-های کاتالاز (۱۳/۹۰ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) و آسکوربات پراکسیداز (۱۰/۴۰ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین‌در دقیقه) به ترتیب در بذرهای نمو یافته در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده خاک و کود مایکوریزا مشاهده شد (شکل‌های ۳الف و - ب). این نتایج مطابق با یافته‌هایی است که کمتر بودن فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان را در بذرهای نمو یافته بالنگو شهری (پراور و همکاران، ۲۰۱۸) زیره‌ی سبز [1] (مهرابی[2] و همکاران، ۲۰۲۰) در شرایط کم آبی شدید گزارش کردند. دلیل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در بذرهای نمو یافته در شرایط کم آبی ممکن است به دلیل کاهش مقدار آب موجود در داخل گیاه مادری باشد و آنزیم‌هایی از قبیل کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز به عنوان یک مؤلفه مهم سازوکار دفاعی برای مقابله با کم آبی عمل می‌کنند (قلی نژاد و همکاران، ۲۰۲۰). در این نتایج مشاهده شد بذرهای تشکیل شده در شرایط کم آبی نه تنها درصد جوانه‌زنی کمتری داشته بلکه مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نیز در این بذرها پایین‌تر بود (شکل الف‌و ۳ب). این نتایج هم راستا با مطالعاتی است که یادآور شدند بذرهای تشکیل شده بالنگو شهری و شیرازی[3] در شرایط کم آبی دارای بنیه و جوانه‌زنی ضعیف‌تر و کمتری هستند بنابراین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز در بذرهای نمو یافته پایین‌تر است (پراور و همکاران، ۲۰۱۸). اما در مقابل کاهش مقدار رطوبت خاک محیط مادری، تغذیه گیاه مادری با تلقیح مایکوریزا نقش به سزایی بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بذرهای نمو یافته داشت. در واقع آغشتگی گیاه مادری با مایکوریزا در شرایط کم آبی توانسته در کاهش تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن تأثیرگذار باشد و بدون صرف انرژی اضافی برای تولید این آنزیم‌ها از تنش و خسارت اکسیداتیو جلوگیری نماید. بنابراین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان مادری در مرحله نمو بذر می‌تواند در راستای حفاظت از گیاه مادری باشد (قنبرزاده و همکاران، ۲۰۲۰).

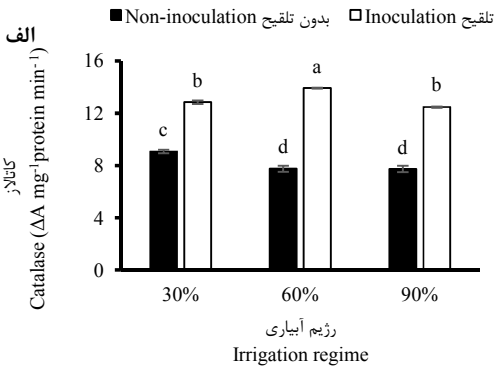
پراکسیداسیون لیپید

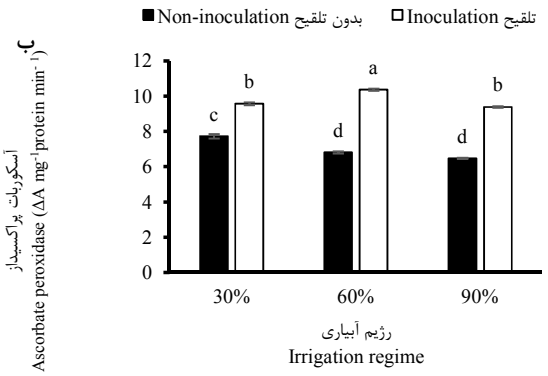
نتایج تجزیه مرکب معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری، کود و رژیم آبیاری× کود، بر پراکسیداسیون لیپید را نشان داد (جدول ۴). بالاترین میزان پراکسیداسیون لیپید (۸۲/۵۰ نانومول‌برگرم) در بذرهای نمو یافته در رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک و بدون کود مایکوریزا مشاهده شد (شکل ۳ج). افزایش پراکسیداسیون لیپید می‌تواند به دلیل کاهش شدید رطوبت خاک محیط مادری در مرحله نمو بذر باشد که منجر به تولید هیدروژن پراکسید و تخریب لیپید سلولی در بذرهای نمو یافته شده است (برزو و همکاران، ۲۰۲۱). گزارش کردند که افزایش بیش از اندازه غلظت پراکسید هیدروژن باعث آسیب رساندن به ساختار لیپید سلولی و افزایش غظت مالون دی آلدئید در بادرشبو [4]شد (قنبرزاده و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه‌براین کاهش میزان پراکسیداسیون لیپید در بذرهای نمو یافته در کود مایکوریزا احتمالاً به دلیل افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز بود (قلی نژاد و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش شده است کاهش پراکسیداسیون لیپید و تولید کمتر محصولی مانند مالون‌دی‌آلدئید، نتیجه افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بوده است که باعث کم‌تر شدن حمله رادیکال‌های فعال اکسیژن به اسیدهای چرب غیر اشباع بذر گلرنگ[5] بوده است (لنگرودی[6] و همکاران، ۲۰۲۱).

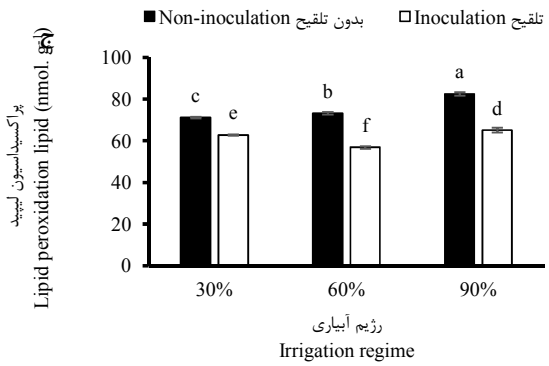
نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که کاهش رطوبت خاک محیط مادری تاثیر به سزایی در کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی، رشد گیاهچه‌ای، موسیلاژ بذر،

[1] *Cuminum cyminum*
[2] Mehrabi
[3] *Lallemantia royleana*
[4] *Dracocephalum moldavica*
[5] *Carthamus tinctorius*
[6] Langeroodi







شکل ۳. مقایسه میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز (الف)، آسکوربات پراکسیداز (ب) و پراکسیداسیون لیپید (ج) بذرهای نمو یافته در شرایط کود مایکوریزا و رژیم آبیاری. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Fig. 3. Mean comparison of catalase (a), ascorbate peroxidase (b) and lipid peroxidation (c) of the seeds developed under mycorrhizal fertilizer and irrigation regime. Means followed by similar letters in each column are not significantly different at $p<0.05$ probability level, The bars indicate the standard error of the means.

عناصر غذایی از قبیل نیتروژن و فسفر، محتوای روغن بذر و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز بذرهای نمو یافته بالنگو داشت. اما در مقابل بهترین رطوبت خاک مادری، رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک بود که بیشترین شاخص جوانه‌زنی، رشد در این سطح از رطوبت خاک مشاهده شد. نتایج نشان داد که تغذیه گیاه مادری با تلقیح کود مایکوریزا تاثیر مثبت و معنی‌داری بر کاهش اثرات منفی رطوبت خاک مادری ایجاد شده بر بذرهای نمو یافته بالنگو داشت. بذرهایی که با کود مایکوریزا تغذیه شده بودند دارای بیشترین میزان شاخص جوانه‌زنی، رشد گیاهچه‌ای، خصوصیات کیفی بذر و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کمترین غلظت پراکسیداسیون لیپید بودند. بر این اساس نتیجه گرفته شد رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک و تلقیح کود مایکوریزا در محیط مادری نقش به سزایی بر افزایش کیفیت بذر بالنگو شهری داشت.

منابع

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(2): 307-320. https://doi.org/10.14720/aas.2019.113.2.12

Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H., Mosanaiey, H., Pessarakli, M., Mousavi, S.E. and Ghasemzadeh, M. 2019. Effects of light and temperature treatments on germination and physiological traits of stevia seedling (*Stevia rebuadiana* Bertoni). Journal of Plant Nutrition, 42(10): 1125-1132. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1567781

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(12): 1337-1344. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x

Alghamdi, S.A. 2019. Influence of mycorrhizal fungi on seed germination and growth in terrestrial and epiphytic orchids. Saudi Journal of Biological sciences, 26(3): 495-502. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.10.021

Amiri-Darban, N., Nourmohammadi, G., Rad, A.H.S., Mirhadi, S.M.J. and Heravan, I.M. 2020. Potassium sulfate and ammonium sulfate affect quality and quantity of camelina oil grown with different irrigation regimes. Industrial Crops and Products, 148: 112308. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112308

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. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108749

Bai, Y., Xiao, S., Zhang, Z., Zhang, Y., Sun, H., Zhang, K., Wang, X., Bai, Z., Li, C. and Liu, L. 2020. Melatonin improves the germination rate of cotton seeds under drought stress by opening pores in the seed coat. PeerJ, 8: e9450. https://doi.org/10.7717/peerj.9450

Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F. and Côme, D. 1998. Free radical scavenging as affected by accelerated ageing and subsequent priming in sunflower seeds. Physiologia Plantarum, 104(4): 646-652. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1040418.x

Bekele, N., Tesso, B. and Fikre, A. 2019. Assessment of seed quality parameters in different seed sources of chickpea (*Cicer arietinum* (L.). African Journal of Agricultural Research, 14(33): 1649-1658. https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14292

Borzoo, S., Mohsenzadeh, S., Moradshahi, A., Kahrizi, D., Zamani, H. and Zarei, M. 2021. Characterization of physiological responses and fatty acid compositions of Camelina sativa genotypes under water deficit stress and symbiosis with micrococcus yunnanensis. Symbiosis, 83(1): 79-90. https://doi.org/10.1007/s13199-020-00733-5

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(1-2): 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Folake, A.B. and Olusola, O.A. 2020. Effect of seed size on *Afzelia africana* (smith) germination. International Journal of Agriculture, Forestry and Fisheries, 8(1): 1-4.

Gao, Y., Peng, S., Hang, Y., Xie, G., Ji, N. and Zhang, M. 2022. Mycorrhizal fungus coprinellus disseminatus influences seed germination of the terrestrial orchid *Cremastra appendiculata* (d. Don) makino. Scientia Horticulturae, 293: 110724. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110724

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 on tomato seed and seedling quality. Journal of Experimental Botany, 70(10): 2905-2918. https://doi.org/10.1093/jxb/erz101

Ghanbarzadeh, Z., Mohsenzadeh, S., Rowshan, V. and Zarei, M. 2020. Mitigation of water deficit stress in Dracocephalum moldavica by symbiotic association with soil microorganisms. Scientia Horticulturae, 272: 109549. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109549

Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., Moghaddam, S.S. and Popović-Djordjević, 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. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106234

Heath, R.L. and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics, 125(1): 189-198. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

Heydari, S. and Pirzad, A. 2021. Efficiency of funneliformis mosseae and thiobacillus sp. On the secondary metabolites (essential oil, seed oil and mucilage) of *Lallemantia iberica* under salinity stress. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 96(2): 249-259. https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1833764

ISTA. 2013. International rules for seed testing: Weight determination. Int. Seed Testing Assoc., Bassersdorf, Switzerland.

Kendon, J.P., Yokoya, K., Zettler, L.W., Jacob, A.S., McDiarmid, F., Bidartondo, M.I. and Sarasan, V. 2020. Recovery of mycorrhizal fungi from wild collected protocorms of madagascan endemic orchid *Aerangis ellisii* (bs williams) schltr. And their use in seed germination in vitro. Mycorrhiza, 30(5): 567-576. https://doi.org/10.1007/s00572-020-00971-x

Keeney, D.R. 1982. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. Nitrogen in Agricultural Soils, 22: 605-649. https://doi.org/10.2134/agronmonogr22.c16

Khademian, R., Asghari, B., Sedaghati, B. and Yaghoubian, Y. 2019. Plant beneficial rhizospheric microorganisms (pbrms) mitigate deleterious effects of salinity in sesame (*Sesamum indicum* L.): Physio-biochemical properties, fatty acids composition and secondary metabolites content. Industrial Crops and Products, 136: 129-131. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.002

Langeroodi, A.R.S., Mancinelli, R. and Radicetti, E. 2021. Contribution of biochar and arbuscular mycorrhizal fungi to sustainable cultivation of sunflower under semi-arid environment. Field Crops Research, 273: 108292. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108292

Liu, J., Hasanuzzaman, M., Wen, H., Zhang, J., Peng, T., Sun, H. and Zhao, Q. 2019. High temperature and drought stress cause abscisic acid and reactive oxygen species accumulation and suppress seed germination growth in rice. Protoplasma, 256(5): 1217-1227. https://doi.org/10.1007/s00709-019-01354-6

Mathimaran, N., Sharma, M.P., Mohan Raju, B. and Bagyaraj, D. 2017. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and drought tolerance in crop plants. Mycosphere, 8(3): 361-376. https://doi.org/10.5943/mycosphere/8/3/2

Mehrabi, Y., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A., Mohatashami, R. and Hamidian, 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 Research, 35(6): 1044-1057. [In Persian with English Summary].

Muhsin, M., Nawaz, M., Khan, I., Chattha, M.B., Khan, S., Aslam, M.T., Iqbal, M.M., Amin, M.Z., Ayub, M.A. and Anwar, U. 2021. Efficacy of seed size to improve field performance of wheat under late sowing conditions. Pakistan Journal of Agricultural Research, 34(1): 247-253. https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2021/34.1.247.253

Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology, 22(5): 867-880

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. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.08.014

Paravar, A., Maleki Farahani, S. and Rezazadeh, A. 2022. *Lallemantia iberica* and *Lallemantia royleana*: The effect of mycorrhizal fungal inoculation on growth and mycorrhizal dependency under sterile and nonsterile soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1-12. https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2034844

Paravar, A., Farahani, S.M. and Rezazadeh, A. 2021 a. Lallemantia species response to drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi application. Industrial Crops and Products, 172: 114002 https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114002

Paravar, A., Maleki Farahani, S. and Rezazadeh, A. 2021 b. The effect of mycorrhiza on catalase enzyme activity and growth and qualitative characteristics of lady's mantle (*Lallemantia royleana*) under deficit irrigation. Journal of Plant Process and Function, 35(10): 235-248. [In Persian with English Summary].

Paravar, A., Maleki Farahani, S. and Rezazadeh, A. 2018. Effect of drought stress during seed development on seed vigour, membrane peroxidation and antioxidant activity in different species of balangu. Journal of Crops Improvement, 20(1): 145-159. [In Persian with English Summary].

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. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.01.012

Pirzad, A. and Mohammadzadeh, S. 2018. Water use efficiency of three mycorrhizal lamiaceae species (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*). Agricultural Water Management, 204: 1-10. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.020

Plouznikoff, K., Asins, M.J., de Boulois, H.D., Carbonell, E.A. and Declerck, S. 2019. Genetic analysis of tomato root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi. Annals of Botany, 124(6): 933-946. https://doi.org/10.1093/aob/mcy240

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: 518-529. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.038

Sharma, P. and Koul, A. 1986. Mucilage in seeds of Plantago ovata and its wild allies. Journal of Ethnopharmacology, 17(3): 289-295. https://doi.org/10.1016/0378-8741(86)90118-2

Stuffins, C. 1967. The determination of phosphate and calcium in feeding stuffs. Analyst, 92: 107-111. https://doi.org/10.1039/an9679200107

Tumpa, K., Vidaković, A., Drvodelić, D., Šango, M., Idžojtić, M., Perković, I. and Poljak, I. 2021. The effect of seed size on germination and seedling growth in sweet chestnut (*Castanea sativa* mill.). Forests, 12(7): 858. https://doi.org/10.3390/f12070858

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(10): 2507-2515. https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.07.009

Yang, W. 2018. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on growth and seed germination of *Capsella bursa-pastoris* L. medikus. Journal of Plant Nutrition, 41(5): 636-644. https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1415350

Yang, X., Wang, B., Chen, L., Li, P. and Cao, C. 2019. The different influences of drought stress at the flowering stage on rice physiological traits, grain yield, and quality. Scientific Reports, 9(1): 1-12. https://doi.org/10.1038/s41598-019-40161-0

Yi, F., Wang, Z., Baskin, C.C., Baskin, J.M., Ye, R., Sun, H., Zhang, Y., Ye, X., Liu, G. and Yang, X. 2019. Seed germination responses to seasonal temperature and drought stress are species specific but not related to seed size in a desert steppe: Implications for effect of climate change on community structure. Ecology and Evolution, 9(4): 2149-2159. https://doi.org/10.1002/ece3.4909

Zhao, D.K., Selosse, M.A., Wu, L., Luo, Y., Shao, S.C. and Ruan, Y.L. 2021. Orchid reintroduction based on seed germination-promoting mycorrhizal fungi derived from protocorms or seedlings. Frontiers in Plant Science, 12: 701152. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.701152

Iranian Journal of Seed Research, 2023, 9(2): 133-150

Research Article

Effect of nutrient and soil moisture of maternal environment on quality and biochemical characteristics of Dragon's head (*Lallemantia iberica*) seed

Arezoo Paravar[1, *], Saeideh Maleki Farahani[1], Alireza Rezazadeh[2]

Extended abstract

Introduction: *Lallemnatia ibercia* (Dragon's head) is an annual herb, which belongs to the *Lamiaceae* family. Nowadays, its seed is widely used in food and pharmaceutical industries due to its high mucilage and oil content. Soil moisture, nutrition, light, and temperature of the maternal environment play an important role in plant growth. However, the effect of soil moisture on yield and seed quality indices is greater during seed development. The positive effects of maternal plant nutrition with mycorrhizal inoculation can influence the quality improvement of the seeds developed under water deficit conditions. The reason for the quality improvement of the seeds developed under mycorrhizal inoculation condition is reported to be their water balance under water deficit conditions and as a result, more absorption of water and nutrients. Nutrient uptake by the maternal plant can play an important role in improving the germination and quality characteristics of the seeds developed under drought stress.

Materials and Methods: A field experiment was conducted in a completely randomized design with three replications at the Seed Science and Technology Laboratory of the College of Agriculture, Shahed University during f 2018-19 and 2019-20 years. Experimental treatments included irrigation regime (30, 60 and 90% of depletion of available soil water (ASW)) and mycorrhizal inoculation (non-inoculation and inoculation).

Results: The results showed that a reduction in soil moisture in the maternal environment decreased germination percentage and seed quality. Germination percentage (51.20%) germination rate (7%), seed vigor index (27.70%), seedling length (28.3%), seedling dry weight (34.80%), seed mucilage (75.40%), as well as seed nutrients (27.30%), seed oil (14.60%) and catalase (35.25%) and ascorbate peroxidase (25.70%) enzymes activities enhanced in the seeds developed under 60% depletion of available soil water and application of mycorrhizal compared to control (30% depletion of available soil water and without mycorrhizal). Compared with the 30% depletion of available soil water and without mycorrhizal, mean germination time (17%) and lipid peroxidation (41.10%) increased under the 90% depletion of available soil water and without fertilizer mycorrhizal.

Conclusions: According to the results of this study, the irrigation regime of 60% available soil water depletion of maternal plants leads to the reduction of seed quality. However, the nutrition of maternal plants by mycorrhizal inoculation effectively improved the quality of seeds developed under water deficit due to the absorption of water and nutrients.

Keywords: Drought stress, Germination, Lallemantia iberica, Mycorrhizal, Seed oil

Highlights:

1- Germination and seedling growth indices, quality and biochemical characteristics of the *Lallemantia iberica* seeds developed under different conditions of irrigation regime were investigated.
2- The effect of mycorrhiza on nutrient uptake, oil content, and antioxidant enzyme activity of the seeds developed under different irrigation regimes was investigated.
3- The extent of damage to the lipid structures of cells in the seeds developed under different irrigation regimes and mycorrhiza fertilizer was investigated.

[1] Department of Crop Production and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran
[2] Department of Plant Protection, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

*Corresponding author, E-mail: Arezoo.Paravar@shahed.ac.ir

(Received: 03.07.2022; Accepted: 07.06.2022)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1401.9.2.7.0

DOI: 10.61186/yujs.9.2.133