

The effect of Mycorrhizal Fungi on Physiological Traits and Essential Oil content of purple coneflower under Cold Stress in Greenhouse Conditions

Safar Nasrollahzadeh¹, Roghiyeh Farzi-Aminabad^{2*}, Seyed Abolghasem Mohammadi³ 

Received: 05 February, 2025

Accepted: 24 May, 2025

1- Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- PhD Student in Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author: Roghiyeh Farzi-Aminabad Email: roghiyehfarzi374@gmail.com

Abstract

Background & Objectives: Various species of mycorrhizal fungi are used to improve the chilling stress resistance of purple coneflower and also to increase essential oil production.

Materials & Methods: The experiment was conducted as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications in the research greenhouse of the Molecular Grain Breeding Center of the Faculty of Agriculture, Tabriz University in 2022. Chilling stress was performed at temperature levels (control (25), 8 and 4 °C) at the rosette stage, and the mycorrhizal fungi *Diversispora versiformis* and *Rhizophagus intraradices* were placed at a depth of about 5 cm of soil before planting.

Results: Chilling stress reduced plant height, leaf number per plant, chlorophyll index, leaf relative water content, leaf temperature, membrane stability index, and plant weight. The use of mycorrhizal fungi increased plant height and chlorophyll index. There was no statistically significant difference in this increase between *Diversispora versiformis* and *Rhizophagus intraradices*. The essential oil content of purple coneflower was affected by the interaction between chilling stress and the use of mycorrhizal fungi. At the optimal growth temperature, the highest essential oil content was recorded by *Rhizophagus intraradices*, but at +8 and +4 temperatures, there was no significant difference between *Diversispora versiformis* and *Rhizophagus intraradices*.

Conclusion: Chilling stress caused a decrease in morphological and physiological traits. At optimal temperatures, the use of *Glomus intraradices* and under chilling stress, the use of fungi *Diversispora versiformis* and *Rhizophagus intraradices* can improve morpho-physiological traits and essential oil of purple coneflower.

Keywords: Chilling Stress, Chlorophyll Index Essential Oil, Mycorrhiza, Purple Coneflower



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright@ 2026 Roghiyeh Farzi-Aminabad Email: roghiyehfarzi374@gmail.com



<https://doi.org/10.22034/saps.2025.65798.3340>

تأثیر قارچ‌های میکوریز بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و اسانس سرخارگل تحت تنش سرما در شرایط گلخانه‌ای

صفر نصراله زاده^۱، رقیه فرضی امین آباد^{۲*}، سید ابوالقاسم محمدی^۳ 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۳
--------------------------	-------------------------

۱- استاد گروه اکوفیزیولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲- دانشجوی دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳- گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

چکیده

مقدمه و اهداف: برای بهبود مقاومت سرخارگل به تنش سرما و همچنین افزایش تولید اسانس از گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریز استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی قطب اصلاح مولکولی غلات دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در سال ۱۴۰۱ اجرا گردید. تنش سرما با درجه‌های دمایی (شاهد (۲۵)، +۸ و +۴ درجه سلسیوس) در مرحله روزت اعمال شد و قارچ‌های میکوریز *Diversispora versiformis* و *Rhizophagus intraradices* قبل از کاشت در عمق حدود ۵ سانتی‌متری خاک قرار داده شدند.

یافته‌ها: تنش سرما موجب کاهش ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، دمای برگ، شاخص پایداری غشا و وزن بوته گردید. کاربرد قارچ‌های میکوریز اثر معنی‌داری بر افزایش ارتفاع بوته و شاخص کلروفیل برگ سرخارگل داشت. در این افزایش بین قارچ‌های *Diversispora versiformis* و *Rhizophagus intraradices* از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. محتوای اسانس سرخارگل تحت تأثیر اثر متقابل تنش سرما و کاربرد قارچ‌های میکوریز قرار گرفت. در دمای مطلوب رشد بالاترین محتوای اسانس توسط قارچ *Rhizophagus intraradices* ثبت گردید ولی در دمای +۸ و +۴ بین قارچ‌های *Diversispora versiformis* و *Rhizophagus intraradices* تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: تنش سرما موجب افت صفات مورفولوژیکی و صفات فیزیولوژیکی گردید. کاربرد قارچ‌های *Diversispora versiformis* و *Rhizophagus intraradices* موجب بهبود ویژگی‌های سرخارگل گردید. در دمای مطلوب کاربرد *Rhizophagus intraradices* و در تنش سرما کاربرد دو قارچ *Diversispora versiformis* و *Rhizophagus intraradices* می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و اسانس سرخارگل گردد.

واژه‌های کلیدی: سرخارگل، تنش سرما، میکوریز، اسانس، شاخص کلروفیل

مقدمه

گیاهان دارویی، گروه مهم و بزرگی از گیاهان هستند که از دوران باستان به عنوان داروهای گیاهی جهت پیشگیری و درمان برخی بیماری‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفتند. شرایط محیطی مانند شوری، دما و کمبود آب بر رشد، عملکرد، کیفیت و کمیت متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی تأثیر می‌گذارند (شارما و همکاران ۲۰۱۷). سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) گیاه دارویی چندساله بومی مناطقی از آمریکای شمالی و متعلق به خانواده (Asteraceae) با منافع اقتصادی بزرگ می‌باشد (اسمیس و همکاران ۲۰۲۰). مواد مؤثره سرخارگل عمدتاً به عنوان محرک ایمنی برای درمان و پیشگیری از سرماخوردگی، آنفولانزا و عفونت‌های دستگاه تنفسی فوقانی استفاده می‌شود (کارش-وولک و همکاران، ۲۰۱۵). این گیاه قدرت ویروس‌کشی بالایی دارد و در پیشگیری و درمان بیماری‌های ویروسی مانند کرونا نیز نقش دارد (رکنا ۲۰۲۱). تمام اندام‌های این گیاه دارای مواد ارزشمندی مانند آکلیل آمید، ایزوبوتیل آمید، متیل بوتیل آمید و اسید شیکوریک می‌باشد. این مواد مؤثره موجب تقویت سیستم دفاعی بدن و افزایش ایمنوگلوبولین می‌شود (بارنز و همکاران ۲۰۰۵). مصرف موضعی سرخارگل در درمان التهاب‌های پوستی توسط سازمان بهداشت جهانی تأیید شده است. همچنین، بعنوان گیاهی برای درمان بیماری ایدز نیز مطرح است (ایزدی و همکاران ۲۰۱۴). تغذیه مناسب گیاه و همزیستی با ریزجانداران مفید از جمله روش‌های بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌ها محسوب می‌شوند (کپلاری و همکاران ۲۰۲۰). تنش سرما شامل تنش یخ‌زدگی (دماهای زیر صفر درجه سلسیوس) و سرمازدگی (دماهای بالاتر از صفر تا ۱۵ درجه سلسیوس) است (دینگ و همکاران ۲۰۱۹)، که می‌توانند تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی مانند تغییرات در فتوسنتز، تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، محتوای مالون دی آلدهید (MDA)، غلظت ساکارز، تولید پراکسیدهای لیپیدی، تجمع پرولین، نشت

الکترولیتی و تغییرات هورمون‌های داخلی گیاهی مثل اسید ابسیزیک (ABA) و جیبرلین (GA) را ایجاد کنند. گیاهان برای مقابله با تنش سرما، مکانیسم‌های پیشرفته‌ای را برای سازگاری با دمای پایین تکامل داده‌اند. غشای سلولی سدی است که سلول‌ها را از آسیب محافظت می‌کند و همچنین محل اصلی تشخیص سیگنال‌های سرما است (احمد و همکاران ۲۰۱۴). دماهای پایین روابط آب و عناصر غذایی را مختل می‌کنند و منجر به کاهش قابل توجه کمیت و کیفیت گیاهان می‌شود (حسن و همکاران ۲۰۲۱). در مطالعات قبلی گزارش شده است که تنش سرما می‌تواند خروج مواد پرورده از آوند آبکش را مهار کند (سترند و همکاران ۱۹۹۷)، تثبیت کربن را کاهش دهد (هاری و همکاران ۱۹۹۲) و با تنظیم رونویسی ژن‌های فتوسنتزی، ریتم شبانه‌روزی فتوسنتز را مختل کند (مارتینوکات و اورت ۱۹۹۲) و مراکز واکنش سیستم نوری II را نیز تخریب کند (کورپا و همکاران، ۱۹۹۰). قارچ‌های میکوریز می‌توانند موقعیت‌های تنش‌زا را با افزایش توانایی خود در حذف گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) کاهش دهند (لی و همکاران ۲۰۱۹). گزارش شده است که قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (AMF) پارامترهای رشدی (لوپز و همکاران، ۲۰۲۱) و همچنین جذب چندین عنصر مهم مانند نیتروژن و فسفر توسط گیاهان تحت تنش را افزایش دادند (بگوم و همکاران ۲۰۱۹). این ارتقای رشد با این واقعیت مرتبط است که قارچ‌های میکوریز سطح جذبی ریشه را افزایش می‌دهند و امکان دسترسی به حجم بیشتری از خاک و همچنین تغییر سطح و توزیع عناصر غذایی در دانه‌های گیاهانی از قبیل گندم و جو را فراهم می‌کند (واتس ویلیامز و گیلبرت ۲۰۲۱). هیف‌های قارچی نیز به طور قابل توجهی نازک‌تر از ریشه هستند و به آن‌ها اجازه می‌دهد وارد منافذ کوچک شده و عناصر غذایی بیشتری را جذب کنند (آلن ۲۰۱۱). گزارش شده است که استفاده از قارچ‌های میکوریز از تغییرات قابل توجه در تولید سرخارگل ناشی از تنش، از طریق افزایش سطح برگ و تولید شاخه‌های گل‌دهنده، حتی در شرایط مصرف کمتر

کود فسفات، جلوگیری می‌کند. تغییرات در صفات فیزیولوژیکی، به‌ویژه پایداری غشای پلاسمایی و حرکات روزنه‌ها با کاربرد میکوریز، منجر به افزایش توان سلولی گیاه در تداوم واکنش‌های متابولیکی می‌شود. تولید اسانس سرخارگل نیز با کاربرد میکوریز به ویژه *Rhizophagus intraradices* حتی در شرایط تنش افزایش می‌یابد (رفأت و همکاران ۲۰۱۸).

بنابراین، برای بررسی میزان اثرگذاری قارچ‌های *Rhizophagus* و *Diversispora versiformis* در شرایط وجود تنش سرما در طول دوره رشدی گیاه روی بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی و اسانس سرخارگل در شرایط گلخانه‌ای بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی قطب اصلاح مولکولی غلات دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طراحی و اجرا شد. تیمار سرما شامل سه سطح (دمای مطلوب رشد ۲۵+ بعنوان شاهد، ۴+ و ۸+ درجه سلسیوس) و تیمار قارچ به صورت شاهد بدون کاربرد قارچ، *Diversispora versiformis* و *Rhizophagus intraradices* می‌باشد. برای آگاهی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش خاک

انجام گردید (جدول ۱). بذرهای مورد استفاده از شرکت پاکان بذر و قارچ‌های میکوریز از گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز تهیه گردید. برای کاشت، گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند و داخل هر گلدان ۷ کیلوگرم خاک ریخته شد. ۱۰۰ گرم از هر گونه قارچ میکوریز به صورت جداگانه در عمق ۵ سانتی‌متری خاک قرار داده شدند. در هر نقطه کاشت سه بذر در عمق ۱ سانتی‌متری خاک قرار داده شدند. پس از سبز شدن بذر، در هر واحد آزمایشی ۶ بوته نگه داشته شد (هر بوته در یک گلدان مجزا). رقم مورد استفاده برای کاشت رقم *Purpurea* بود. برای اعمال تنش سرما، گیاهان در مرحله روزت به اتاقک رشد منتقل شدند و به صورت جداگانه به مدت یک هفته در دماهای ۸+ و ۴+ سلسیوس قرار گرفتند. آبیاری با آب شهری تا سبز شدن بذر، روزانه انجام گرفت و پس از آن با توجه به نیاز گیاه و به طور متوسط از هفت روز یک بار انجام گردید. متوسط دما، شدت نور و میانگین رطوبت نسبی گلخانه به ترتیب ۲۴-۲۸ درجه سانتی‌گراد، ۷۸۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه و ۳۶-۴۰ درصد بود. همچنین ساعت روشن ۱۸ ساعت و تاریکی ۶ ساعت بود. متوسط طول دوره رشد گیاه از زمان کاشت تا تولید بذر ۸ ماه بود.

جدول ۱: برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این آزمایش

pH	EC (dS/m)	TNV (%)	OC (%)	TN (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture
۷/۶۱	۰/۶۷	۲۴	۰/۲۹	۰/۰۳	۷/۴۹	۲۲۶/۸	۵۵	۳۰	۱۵	لومی شنی

بالایی، میانی و پایینی ساقه بوته‌ها در نظر گرفته شد و میانگین این سه عدد به عنوان قطر ساقه هر بوته یادداشت گردید.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی

در مرحله گلدهی (مرحله اصلی ۴ بر اساس مقیاس BBCH و کد ۶) از هر گلدان سه بوته برداشت و بلافاصله در داخل پاکت‌های کاغذی به آزمایشگاه منتقل

اندازه‌گیری صفات ریخت‌شناسی

ارتفاع ۳ بوته با استفاده از متر در مرحله گلدهی کامل اندازه‌گیری شد. سپس میانگین این بوته‌ها به عنوان ارتفاع بوته سرخارگل در نظر گرفته شد. تعداد برگ بوته‌ها در مرحله گلدهی کامل شمارش گردید و میانگین برگ سه بوته به عنوان تعداد برگ تک بوته در نظر گرفته شدند. برای اندازه‌گیری قطر ساقه از کولیس دیجیتال استفاده شد. برای اندازه‌گیری قطر ساقه، سه قسمت

وسط و انتهای هر برگ) هر بوته شاخص کلروفیل ارزیابی گردید. در آخر میانگین این اعداد به عنوان معیاری از شاخص کلروفیل برگ سرخارگل در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری وزن بوته و اسانس

سه بوته در مرحله گلدهی کامل، کف بر شدند. سپس وزن تر بوته‌ها توزین شدند. بوته‌ها به مدت ۱۰ روز هوا خشک شدند و توزین گردیدند. بوته‌های هوا خشک شده به وسیله آسیاب کاملاً پودر شدند. رطوبت نمونه‌های پودر شده با استفاده از دستگاه رطوبت سنج اندازه‌گیری گردید و سپس ۱۰۰ گرم از نمونه‌ها برداشته شد و به همراه ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در بالن حجمی ریخته شد و دستگاه کلونجر روشن گردید. اسانس تجمع یافته در قسمت فوقانی لوله مدرج به داخل میکروتیوب‌ها ریخته و روی آن‌ها با ورق‌های آلومینیومی پوشانده شد و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس برای محاسبه درصد اسانس از فرمول زیر استفاده شد (مرشدلو و همکاران ۲۰۱۷):

$$100 \times (\text{وزن اسانس (گرم)} / \text{وزن خشک ماده اولیه (گرم)}) = \text{محتوای اسانس (\%)}$$

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای برازش منحنی‌ها، رسم شکل‌ها و نمودارها از نرم افزار Excel بهره‌گیری گردید.

نتایج و بحث

اثر تنش سرما و قارچ‌های میکوریز بر ارتفاع بوته سرخارگل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تعداد برگ فقط تحت تأثیر تنش سرما قرار گرفت. تنش سرما و قارچ‌های میکوریز اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ سرخارگل نداشتند (جدول ۲).

گردید. برگ‌ها از ساقه جداسازی شد و سطح برگ هر یک از بوته‌ها با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (Model LI-3100 Area Meter) اندازه‌گیری گردید. پس از اعمال تنش سرما، برای اندازه‌گیری دمای برگ از هر گلدان دو بوته انتخاب و دمای برگ‌های تحتانی، میانی و فوقانی با استفاده از دماسنج مادون قرمز (Infrared Thermometer-TES-1327) ثبت گردید. سپس میانگین آن‌ها به عنوان دمای برگ برای هر گلدان درج گردید. پس از اعمال تنش سرما در اتاقک رشد، در مرحله روزت، از برگ‌های سالم و توسعه یافته سه برگ جداسازی شده و سریعاً به آزمایشگاه منتقل شدند. برای تعیین محتوای نسبی آب برگ، ابتدا وزن تر نمونه‌ها اندازه‌گیری شد، سپس به مدت ۲۴ ساعت داخل آب مقطر در دمای اتاق (دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شده و دوباره توزین شدند و در آخر در دمای ۷۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت داخل آون قرار داده سپس وزن خشک نمونه‌ها تعیین شدند، در نهایت محتوای نسبی آب برگ از طریق فرمول زیر محاسبه گردید (قاسمی گل‌عزانی و همکاران ۲۰۲۳):

$$100 \times \frac{\text{وزن خشک - وزن تر}}{\text{وزن خشک - وزن اشباع}} = \text{محتوای نسبی آب برگ}$$

به منظور اندازه‌گیری نشت الکترولیت غشاها از EC متر استفاده شد. قطعات برگی (۱۰ قطعه برگ برای هر نمونه) به اندازه ۱ سانتی متر مربع سه بار به آرامی در آب مقطر شستشو داده شده و به مدت ۲۲ ساعت در ۱۰ میلی لیتر آب مقطر غوطه‌ور شدند. بعد از این مدت EC محلول سنجش شد (EC_1). پس از قرار دادن محلول حاوی قطعات برگی در حمام آب‌گرم ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت، EC_2 سنجش شد. در نهایت نشت الکترولیت‌ها با استفاده از فرمول زیر بدست آمد (قاسمی گل‌عزانی و همکاران ۲۰۲۳):

$$MSI = (EC_1 / EC_2) \times 100$$

شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (CCM-200) اندازه‌گیری شد. برای این منظور از هر گلدان ۲ بوته بعد از اعمال تنش سرما انتخاب و از برگ‌های بالایی، میانی و پایینی (از سه قسمت ابتدا،

جدول ۲: تجزیه واریانس اثر سرما و قارچ‌های میکوریز بر صفات مورفولوژیکی سرخارگل

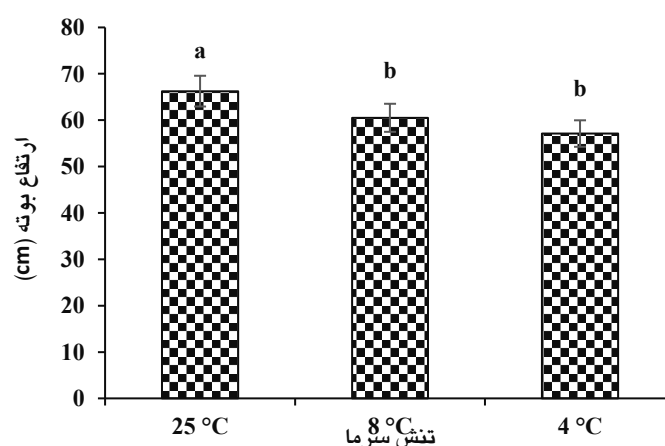
میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد برگ	شاخص سطح برگ
تکرار	۲	۵۹/۸۹	۲۵/۸۵	۰/۱۱۴
سرما (C)	۲	۲۴۹/۱**	۵۵/۴۷**	۰/۱۵۱ ^{ns}
قارچ میکوریز (M)	۲	۳۸/۴۵**	۷/۲۸ ^{ns}	۰/۱۴۲ ^{ns}
C × M	۴	۱۳/۶۴ ^{ns}	۸/۶۲ ^{ns}	۰/۲۱۶ ^{ns}
خطا	۱۶	۶/۰۵	۳/۱	۰/۲۳۱
ضریب تغییرات (%)	-	۴/۲۴	۵/۶۳	۱۶/۵۸

** و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیر معنی‌دار است.

ارتفاع بوته و قطر ساقه

بیشترین ارتفاع بوته سرخارگل در دمای مطلوب رشد (۲۵ درجه سلسیوس) ثبت شد. دمای ۴+ و ۸+ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری بر ارتفاع بوته ایجاد نکردند (شکل ۱). کاربرد قارچ‌های میکوریز موجب افزایش ارتفاع بوته گیاه نسبت به شاهد (عدم کاربرد قارچ) گردید و بالاترین ارتفاع بوته با کاربرد RI^1 حاصل شد ولی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین RI و DV^2 وجود نداشت (شکل ۲). اثر ساده تنش سرما و قارچ‌های میکوریز بر شاخص کلروفیل برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. دمای برگ، محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشا فقط تحت تأثیر تنش سرما قرار گرفت و اثر تنش سرما بر این صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۳). تنش سرما موجب کاهش

طول اندام هوایی در گیاه برنج گردید (قربانی و همکاران ۲۰۰۹). چون دمای پایین موجب کم شدن فتوسنتز خالص به علت توقف جریان سیتوپلاسمی، کاهش انرژی در فتوسنتز و فراهم نبودن فسفات سرشار از انرژی در گیاهان شده و با افت دما بیشتر می‌شود که در نهایتاً سبب کاهش رشد گیاه می‌گردد (کافی و همکاران ۲۰۰۹). همچنین با کاربرد قارچ میکوریز ارتفاع بوته آویشن نسبت به عدم کاربرد آن افزایش یافت. دلیل افزایش ارتفاع بوته با کاربرد قارچ میکوریز به جذب بهتر عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، روی، فسفر، آمونیوم، مس و پتاسیم نسبت داده می‌شود که سبب بهبود صفات رشدی و عملکردی از قبیل ارتفاع بوته و تعداد شاخ و برگ می‌گردد (بائوم و همکاران ۲۰۱۵).

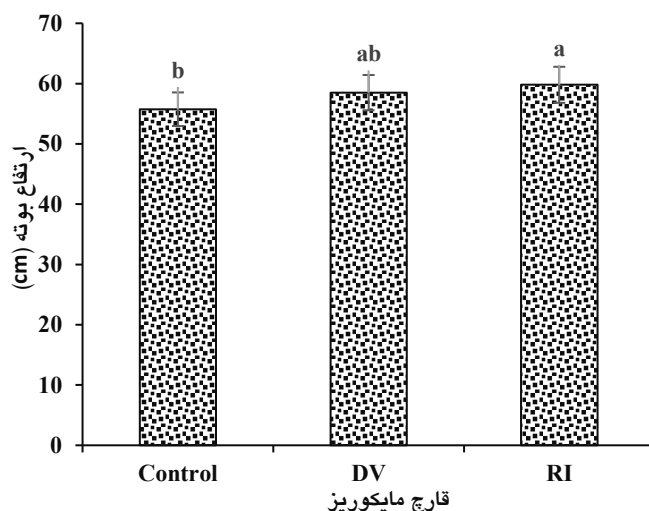


شکل ۱: ارتفاع بوته سرخارگل در سطوح مختلف تنش سرما

حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

² DV: *Diversispora versiformis*

¹ RI: *Rhizophagus intraradices*



شکل ۲: ارتفاع بوته سرخارگل تحت تأثیر قارچ‌های میکوریز

Control: شاهد، DV: *Diversispora versiformis*, RI: *Rhizophagus intraradices*

حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

تعداد برگ در بوته

افت دما موجب کاهش تعداد برگ در بوته سرخارگل گردید. بیشترین تعداد برگ در گیاهان رشد یافته در دمای مطلوب رشد (۲۵ درجه سلسیوس) بود. بین دمای +۸ و +۴ از نظر تعداد برگ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). تعداد برگ ارتباط مستقیمی با ارتفاع بوته دارد و کاهش ارتفاع بوته (شکل ۱) موجب کاهش تعداد برگ در بوته گردید. قارچ‌های میکوریز موجب افزایش ارتفاع بوته گردید که به دنبال آن تعداد برگ نیز ممکن است افزایش یابد ولی به دلیل تنش سرما ممکن است برگ‌ها ریزش یافته باشند (جدول ۴). تنش

سرما باعث فشردگی خاک و محدودیت رشد ریشه می‌گردد بنابراین گیاه را در جذب آب در طول دوره خشکی با مشکل مواجه می‌سازد بنابراین باعث ایجاد تنش ثانویه خشکی در گیاه می‌گردد. نتیجه این محدودیت در دسترسی به آب موجب کاهش فاصله میانگره‌ها و تعداد برگ در بوته می‌گردد که ممکن است تعدادی از برگ‌ها هم به دلیل کاهش آماس و پژمردگی ریزش کنند (قاسمی گل‌عزانی و لطفی ۲۰۱۴). محققان گزارش کردند که محدودیت دسترسی به آب به دلیل بستن روزنه‌ها و افت پتانسیل آب برگ موجب کاهش تعداد برگ در بوته سرخارگل گردید (طاووسی و همکاران ۲۰۲۴).

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر سرما و قارچ‌های میکوریز بر صفات فیزیولوژیکی سرخارگل

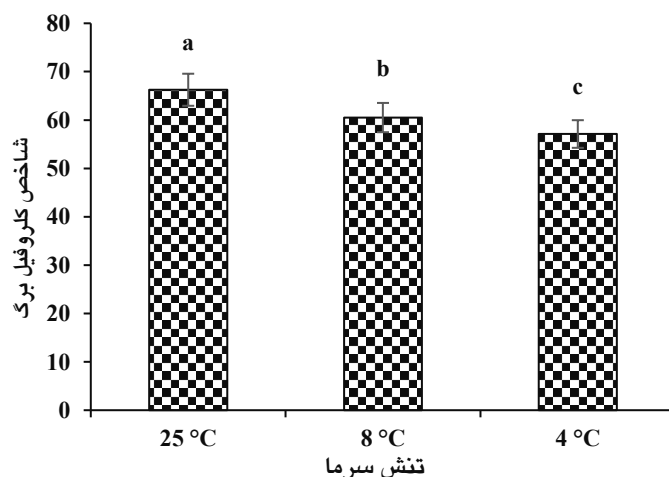
میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص کلروفیل برگ	دمای برگ	محتوای نسبی آب برگ	شاخص پایداری غشا
تکرار	۲	۱۲۳/۹۸	۲/۹۳	۱۵/۴۶	۹/۶۵
سرما (C)	۲	۱۹۲/۵**	۴۰۱/۲۱**	۲۹۲۵/۹۵**	۴۹۵/۰۷**
قارچ میکوریز (M)	۲	۳۱/۸**	۱/۱۴ ^{ns}	۱۷/۴۵ ^{ns}	۶/۷۶ ^{ns}
C × M	۴	۱/۵۵ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۴۷۷ ^{ns}
خطا	۱۶	۲/۲۱	۰/۰۴	۱۱/۳۶	۳/۹۷
ضریب تغییرات (%)	-	۲/۴۳	۱/۲۶	۵/۸+۲	۲/۳۸

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

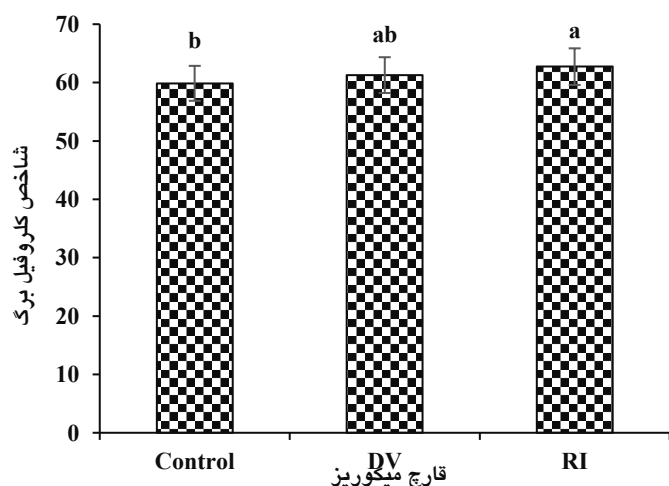
شاخص کلروفیل برگ

تنش سرما موجب کاهش شاخص کلروفیل برگ سرخارگل گردید. بیشترین شاخص کلروفیل در دمای مطلوب رشد (۲۵ درجه سانتی‌گراد) حاصل شد و پایین‌ترین مقدار آن در دمای ۴+ ثبت گردید (شکل ۳). کاربرد قارچ‌های *RI* و *DV* باعث افزایش شاخص کلروفیل برگ گردید. بیشترین مقدار کلروفیل با کاربرد قارچ *RI* حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با *DV* نداشت. تنش سرما فعالیت فتوسنتزی را مختل می‌کند و باعث کاهش تجمع رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود (یادگاری و همکاران ۲۰۰۸). سنتز کلروفیل در گیاهان سرما دیده، در برابر نور کاهش می‌یابد و تیلاکوئیدها تخریب شده و گیاهان رنگیزه خود را از دست می‌دهند. که کاهش رنگیزه‌های

فتوسنتزی در نهایت موجب افت کارایی فتوسنتزی گیاه شده و عملکرد گیاه کم می‌شود (فرضی امین آباد و نصراله زاده ۲۰۲۴). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار می‌توانند میزان فتوسنتز را از طریق افزایش کلروفیل و بهبود تبادل گازی افزایش دهند، این تبادل شامل ورود دی‌اکسید کربن به داخل برگ‌ها و خروج اکسیژن به بیرون است. بهبود این فرآیند به گیاه کمک می‌کند تا دی‌اکسید کربن بیشتری را برای انجام فتوسنتز جذب کند. این فعالیت‌ها در نهایت به بهبود رشد گیاه نیز منجر می‌شوند که نشان‌دهنده نقش مهم قارچ‌ها در اکوسیستم‌ها و تولیدات گیاهی هستند (پورسل و همکاران ۲۰۱۵).



شکل ۳: شاخص کلروفیل برگ سرخارگل در سطوح مختلف تنش سرما
حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.



شکل ۴: شاخص کلروفیل برگ سرخارگل تحت تأثیر قارچ‌های میکوریز
Control: شاهد، DV: *Diversispora versiformis*, RI: *Rhizophagus intraradices*
حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

محتوای نسبی آب و دمای برگ

افت دما موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ نسبت به دمای مطلوب رشد (۲۵ درجه سانتی‌گراد) گردید. کمترین مقدار محتوای نسبی آب برگ در دمای +۴ ثبت گردید (جدول ۴). تنش سرما موجب افت دمای برگ نسبت به نمونه‌های شاهد (۲۵ درجه سانتی‌گراد) گردید. پایین‌ترین دمای برگ در دمای +۴ درجه سانتی‌گراد ثبت شد (جدول ۴). وضعیت آب گیاه ارتباط مستقیمی با رشد و نمو دارد که عامل مؤثر کلیدی بر عملکرد و کیفیت محصولات تولیدی است. وضعیت مطلوب آب گیاه بسیار مهم است زیرا که اگر سطح آب گیاه فراتر از حد معینی (سطح آستانه) کاهش یابد کاهش شدیدی در عملکرد و کیفیت گیاه به وجود می‌آید (پرکاش و ساین ۲۰۲۰). به طور کلی گیاهان در شرایط تنش سرما علائم تنش کمبود آب را نشان می‌دهند که با کاهش هدایت هیدرولیکی ریشه و به دنبال آن کاهش شدید پتانسیل آب برگ و از دست دادن فشار آماس ایجاد می‌شود (آروکا و همکاران ۲۰۰۳). بر اساس گزارش فرضی امین آباد و همکاران (۲۰۲۱) تنش خشکی از طریق کاهش آماس سلولی و افت آب قابل دسترس، موجب بستن روزنه‌ها و کاهش محتوای نسبی آب برگ در گلرنگ گردید که در نهایت موجب کاهش زیست توده و عملکرد نهایی گیاه می‌گردد. گزارش شده است که دمای برگ بر اثر کاهش پتانسیل آب و بسته شدن روزنه‌ها در شرایط کم آبی، افزایش می‌یابد (نیلسون و اندرسون ۱۹۸۹). بسته شدن روزنه‌ها با محدود کردن دی اکسید کربن قابل دسترس در برگ، فتوسنتز را نیز کاهش می‌دهد (بویر ۱۹۷۶). گیاهان با محتوای نسبی آب برگ بیشتر، از توان حفظ آب بالاتری برخوردار خواهند بود و بنابراین به فتوسنتز ادامه خواهند داد، اما با افزایش دمای برگ و در نتیجه آن

بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز، با افت عملکرد مواجه خواهند شد (پاسیان اسلام ۲۰۱۱).

شاخص پایداری غشا

کاربرد قارچ‌های میکوریز و اثر متقابل سرما و قارچ‌های میکوریز بر شاخص پایداری غشا اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). دمای پایین موجب کاهش پایداری غشای سلولی و آسیب به غشاهای سلولی می‌شود. کمترین شاخص پایداری غشا در +۴ درجه سلسیوس در مقایسه با شاهد ۲۵ درجه سلسیوس بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با دمای +۸ نداشت (جدول ۴). تنش سرما به دلیل تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن به غشاهای سلولی در گیاهان آسیب می‌زنند و این آسیب از طریق تغییر سیالیت غشا و تخریب غشا سلولی در یونجه گزارش شده است (ادهیکاری و همکاران، ۲۰۲۲). تخریب غشای سلولی بر اثر پتانسیل آب پایین، ترکیب لیپید، کاهش تأمین ATP، انباشت ترکیبات سمی، عدم تعادل در تأمین یون‌ها و نشت مواد محلول داخل سلول ایجاد می‌شود (تتوخاریس و همکاران ۲۰۱۲). تغییر ترکیب لیپید و متابولیسم لیپید در طول تنش سرما، درجه آسیب سرما را در گیاهان و همچنین سایر گونه‌ها تعیین می‌کند. افزایش محتوای اسیدهای چرب غیراشباع در غشاء پلاسمایی آرابیدوپسیس سازگار شده با سرما، سیالیت بیشتری برای تثبیت غشاها فراهم می‌کند (میکل و همکاران ۱۹۹۳).

اثر تنش سرما روی وزن تر و خشک بوته سرخارگل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). اثر متقابل تنش سرما و قارچ‌های میکوریز بر محتوای اسانس سرخارگل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۵).

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر سرما بر صفات سرخارگل

تنش سرما	تعداد برگ	محتوای نسبی آب برگ	دمای برگ (°C)	پایداری غشا	وزن تر بوته (g)	وزن خشک بوته (g)
شاهد ۲۵ درجه سلسیوس	۳۴/۱۶ a	+۷۸/۴۸ a	۲۴/۸+۴ c	۸+۹/۵ a	۴۲/۷۵ a	۱۱/۳۶ a
+۸ درجه سلسیوس	۲۹/۸+۶ b	۵۰/۶ b	۱۴/۶۷ b	۸+۶/۲۴ab	۳۴/۴۱ b	+۸/۶۶ b
+۴ درجه سلسیوس	+۲۸/۴۵ b	۴۴/۷۳ c	۱۲/۲۷ a	۷۵/۳۴ b	۳۲/۹۷ b	+۸/۲۸ b

حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۵: تجزیه واریانس اثر سرما و قارچ‌های میکوریز بر وزن تر و خشک بوته و محتوای اسانس

میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر بوته	وزن خشک بوته	محتوای اسانس
تکرار	۲	۷۱/۹	۷/۴۹	۰/۶۲۱
سرما (C)	۲	۲۵۱/۰۸**	۲۵/۲۲**	۰/۰۴
قارچ میکوریز (M)	۲	۱۰/۸+۱ ^{ns}	۱/۷۶ ^{ns}	۲/۱۹۲
C × M	۴	۴/۲۸ ^{ns}	۰/۸+۲ ^{ns}	۰/۴۴۰*
خطا	۱۶	۵/۸+۹	۰/۶۰۲	۰/۱۱۷
ضریب تغییرات (%)	–	۶/۶۱	۸/۲۲	۲۳/۵

*, **, و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار است.

وزن تر و خشک بوته

بیشترین وزن تر و خشک بوته سرخارگل در گیاهان رشد کرده در دمای مطلوب حاصل شد و بین دمای ۴+ و ۸+ از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). کاهش وزن بوته بر اثر تنش سرما می‌تواند ناشی از کاهش ارتفاع بوته (شکل ۱)، ریزش برگ و کاهش تعداد آن (جدول ۴)، کاهش شاخص پایداری غشا (جدول ۴) و کم شدن شاخص کلروفیل برگ (شکل ۳) باشد که نهایتاً موجب کم شدن وزن بوته می‌گردند. کاهش وزن بوته بر اثر افت تنش سرما بر فرآیندهای فیزیولوژیکی کلیدی مانند فتوسنتز تأثیر می‌گذارد و فعالیت آنزیم‌های حیاتی و جذب عناصر غذایی را مختل می‌کند که به نوبه خود رشد گیاه را تضعیف می‌کند (کندامودی و همکاران ۲۰۱۲). در درجه حرارت‌های پایین، انرژی نورانی جذب شده به وسیله رنگیزه‌ها نمی‌تواند در واکنش‌های فتوسنتزی به کار گرفته شود. این انرژی نورانی جذب شده باعث واکنش‌های اکسیداسیون نوری می‌شود که موجب از دست رفتن رنگیزه‌ها، لیپیدها و اسیدهای چرب به خصوص در غشای تیلاکوئیدی می‌گردد (مکیو و همکاران ۲۰۰۰). که به نوبه خود باعث کاهش فعالیت فتوسنتزی و رشد گیاه خواهد شد (پاییزی و شریعتی ۲۰۱۲). چون میزان کلروفیل همبستگی مثبتی با سرعت فتوسنتز دارد با افزایش محتوای آن زیست توده و عملکرد دانه در گیاهان زراعی افزایش می‌یابد (وانگ و همکاران ۲۰۰۸). اما

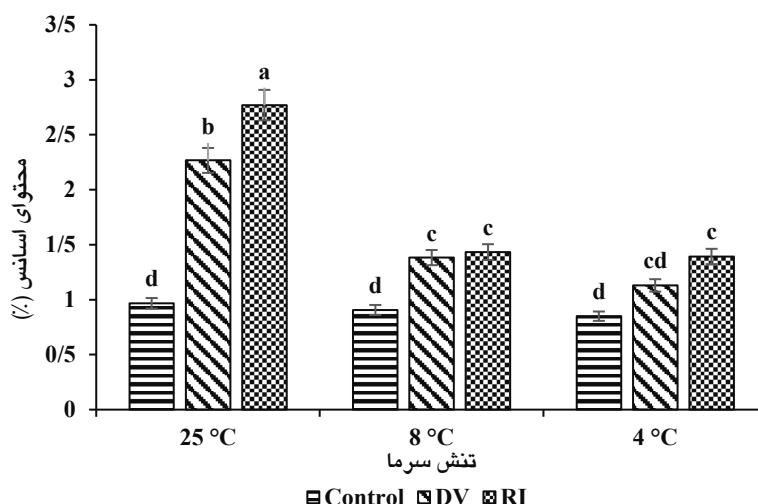
گزارش شده است که تنش سرما موجب کاهش میزان کلروفیل در گیاهان می‌شود (حسینی و همکاران ۲۰۱۳). محققان گزارش کردند که تنش سرما با اختلال در ساخت کلروفیل، موجب کاهش رشد گیاه ذرت گردید (بانو و همکاران ۲۰۱۵). نتایج مشابهی گزارش شده است که در آن پارامترهای رشد گیاه تحت تأثیر منفی تنش سرما در برنج (شی و همکاران، ۲۰۲۲)، نخود (نییار و همکاران ۲۰۰۵) و ذرت (واگاس و همکاران ۲۰۱۷) قرار گرفته‌اند. تأثیر تنش سرما بر رشد و توسعه ریشه، ویژگی‌های مورفولوژی گیاه و زیست توده اندام هوایی مشخص می‌شود که در نهایت موجب کاهش وزن خشک گیاه می‌گردد (شهزاد و همکاران ۲۰۲۴).

اسانس

به طور کلی کاربرد قارچ‌های میکوریز موجب افزایش محتوای اسانس در تمامی تیمارهای دمایی گردید. بالاترین محتوای اسانس سرخارگل در گیاهان رشد یافته در دمای مطلوب رشد و قارچ *RI* حاصل شد. در دماهای ۸+ و ۴+ درجه سانتی‌گراد بیشترین محتوای اسانس با قارچ *RI* حاصل شد ولی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با *DV* نداشت (شکل ۵). بهبود اسانس با کاربرد قارچ میکوریز به افزایش فعالیت فتوسنتزی و غدد تشکیل دهنده اسانس بر اثر افزایش سطح جذب و دسترسی به عناصر غذایی نسبت داده می‌شود. از این رو همزیستی ریشه گیاه آویشن با قارچ میکوریز از طریق فراهمی عناصر اصلی سازنده اسانس از جمله نیتروژن و

کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف) افزایش یافت (چگنی و همکاران ۲۰۱۸+). تلقیح گیاه نعنای با قارچ میکوریزا به طور قابل ملاحظه‌ای میزان اسانس را افزایش داد. همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه گیاه نعنای از طریق افزایش جذب آب و عناصر پرمصرف در بهبود میزان اسانس مؤثر بوده است (گوپتا و همکاران ۲۰۰۲).

فسفر موجب افزایش درصد اسانس آویشن شده است (گلوبکینا و همکاران ۲۰۲۰). نتیجه کاربرد قارچ میکوریز باعث ایجاد تغییراتی در غلظت فیتوهورمون‌های گیاهی از قبیل جاسمونیک اسید، جیبرلیک اسید و سیتوکینین می‌شود که این فیتوهورمون‌ها تشکیل غدد ترشح کننده اسانس را بیشتر کرده و در نهایت منجر به تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه می‌شوند (کاپور و همکاران ۲۰۱۷). درصد اسانس شوید (*Anethum graveolens* L.) با



شکل ۵: اثر برهمکنش سرما و قارچ‌های میکوریزی بر محتوای اسانس سرخارگل
Control: شاهد، DV: *Diversispora versiformis*, RI: *Rhizophagus intraradices*
حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

اسانس گردیدند و نسبت به همدیگر از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت مالی سازمان اتکا و همکاری کارشناسان و اعضای هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز جهت پیشبرد اهداف این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

تنش دماهای پایین موجب کاهش ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل برگ، محتوای نسبی آب برگ، دمای برگ، وزن تر و خشک بوته و شاخص پایداری غشا گردید. استفاده از قارچ‌های DV و RI موجب بهبود ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل برگ و محتوای اسانس در تیمارهای دمایی مختلف گردید. در دمای مطلوب، قارچ RI و در دمای ۸+ و ۴+ هر دو قارچ موجب بهبود محتوای

منابع مورد استفاده

- Adhikari L, Baral R, Paudel D, Min D, Makaju SO, Poudel HP and Missaoui AM. 2022. Cold stress in plants: Strategies to improve cold tolerance in forage species. *Plant Stress*, 4: 10008+1. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.10008+1>
- Ahmad I, Basra SMA and Wahid A. 2014. Exogenous application of ascorbic acid, salicylic acid and hydrogen peroxide improves the productivity of hybrid maize at low temperature stress. *International Journal of Agricultural Biology*, 16 (4): 8+25-8+30.

- Allen MF. 2011. Linking water and nutrients through the vadose zone: a fungal interface between the soil and plant systems. *Journal of Arid Land*, 3 (3): 155-163.
- Aroca R, Vernieri P, Irigoyen JJ, Sánchez-Díaz M, Tognoni F and Pardossi A. 2003. Involvement of abscisic acid in leaf and root of maize (*Zea mays* L.) in avoiding chilling-induced water stress. *Plant Science*, 165 (3): 671-679. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00257-7](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00257-7)
- Barnes J, Anderson LA, Gibbons S and Phillipson JD. 2005. Echinacea species (*Echinacea angustifolia* (DC.) Hell., *Echinacea pallida* (Nutt.) Nutt., *Echinacea purpurea* (L.) Moench): a review of their chemistry, pharmacology and clinical properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 57 (8+): 929-954. <https://doi.org/10.1211/0022357056127>
- Bano S, Aslam M, Saleem M, Basra SMA and Aziz K. 2015. Evaluation of maize accessions under low temperature stress at early growth stages. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 25 (2).
- Baum C, El-Tohamy W and Gruda N. 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: a review. *Scientia horticulturae*, 18+7: 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002>
- Begum N, Qin C, Ahanger MA, Raza S, Khan MI, Ashraf M and Zhang L. 2019. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*, 10: 1068+. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Boyer JS. 1976. Water deficits and photosynthesis. *Water deficits and plant growth*. 153-190.
- Cappellari LDR, Chiappero J, Palermo TB, Giordano W and Banchio E. 2020. Volatile organic compounds from rhizobacteria increase the biosynthesis of secondary metabolites and improve the antioxidant status in *Mentha piperita* L. grown under salt stress. *Agronomy*, 10 (8+): 1094. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081094>
- Chegeni Z, Zolfaghari M, Sedighi Dehkordi F and Mahmoodi Sourestani M. 2018+. The effect of mycorrhizal fungi, PGPRs and chemical fertilizer on yield and essential oil content of dill (*Anethum graveolens* L.) seed. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28+ (4): 93-104.
- Ding Y, Shi Y and Yang S. 2019. Advances and challenges in uncovering cold tolerance regulatory mechanisms in plants. *New Phytologist*, 222 (4): 1690-1704. <https://doi.org/10.1111/nph.15696>
- Farzi-Aminabad R and Nasrollahzadeh S. 2024. Investigate the physiological, biochemical, and productivity aspects of crops to cold stress. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 14 (3): 5141-5153. <https://doi.org/https://doi.org/10.71551/ijpp.2024.1025909>
- Farzi Aminabad R, Nasrollahzadeh S and Ghassemi-Golezani K. 2021. Response of Safflower in Water Deficit and Foliar Application of Putrescine and 24-Epibrassinolide. *Sustainable Agriculture and Production Science*, 31 (2): 28+9-302. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.13110>
- Ghassemi-Golezani K and Lotfi R. 2014. *Cold Stress in Plants*. Tabriz University Press. 156.
- Ghassemi-Golezani K, Rajabi M and Farzi Aminabad R. 2023. Improving physiological performance and productivity of oilseed rape under drought stress by foliar application of Zn and Mg nanoparticles. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 13 (2): 217-229. <https://doi.org/10.22034/jppb.2023.5638+7.1304>
- Ghorbani A, Zarinkamar F and Fallah A. 2009. The effect of cold stress on the morphologic and physiologic characters of two rice varieties in seedling stage. *Journal of Crop Breeding*, 3: 50-66. (In Persian)
- Golubkina N, Logvinenko L, Novitsky M, Zamana S, Sokolov S, Molchanova A and Caruso G. 2020. Yield, essential oil and quality performances of *Artemisia dracunculus*, *Hyssopus officinalis* and *Lavandula angustifolia* as affected by arbuscular mycorrhizal fungi under organic management. *Plants*, 9 (3): 375. <https://doi.org/10.3390/plants9030375>
- Gupta ML, Prasad A, Ram M and Kumar S. 2002. Effect of the vesicular–arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology*, 8+1 (1): 77-79. [https://doi.org/10.1016/S0960-8+524\(01\)00109-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8+524(01)00109-2)

- Hassan MA, Xiang C, Farooq M, Muhammad N, Yan Z, Hui X and Jincai L. 2021. Cold stress in wheat: plant acclimation responses and management strategies. *Frontiers in plant science*, 12: 6768+8+4. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.6768+8+4>
- Hasani Z, Pirdashti H, Yaghoubian Y and Nouri MZ. 2013. Comparative effects of cold air and cold-water stress on chlorophyll parameters in rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 21 (2): 918+-921.
- Hurry VM and Huner NP. 1992. Effect of cold hardening on sensitivity of winter and spring wheat leaves to short-term photoinhibition and recovery of photosynthesis. *Plant Physiology*, 100 (3): 128+3-1290. <https://doi.org/10.1104/pp.100.3.128+3>
- Izadi Z, Sorooshzadeh A, Modarres Sanavi SA, Esna-Ashari M, AghaAlikhani M and Davoodi P. 2014. Effect of Extraction Method on Antimicrobial Properties of Shoot Extract of Purple Coneflower (*Echinacea Purpurea* L.) Against Some Pathogenic Bacteria. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 13 (3): 267-28+0. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17353165.1393.13.3.2.7>
- Kafi M, Borzouei A, Salehi M, Kamandi A, Masumi, A. and Nabati, J. 2009. Environmental stress physiology in plants. Mashhad Jihad-e-Daneshgahi Publication, 502p. (In Persian)
- Karsch-Völck M, Barrett B and Linde K. 2015. Echinacea for preventing and treating the common cold. *Jama*, 313 (6): 618+-619.
- Kondamudi R, Swamy KN, Chakravarthy DVN, Vishnuprasanth V, Rao YV, Rao PR and Voleti SR. 2012. Heat stress in rice—physiological mechanisms and adaptation strategies. *Crop stress and its management: perspectives and strategies*, 193-224.
- Kapoor R, Anand G, Gupta P and Mandal S. 2017. Insight into the mechanisms of enhanced production of valuable terpenoids by arbuscular mycorrhiza. *Phytochemistry Reviews*, 16: 677-692. <https://doi.org/10.1007/s11101-016-948+6-9>
- Li YY, Wang XW, Ban QY, Zhu XX, Jiang CJ and Wei CL. 2019. Comparative transcriptomic analysis reveals gene expression associated with cold adaptation in the tea plant *Camellia sinensis*. *BMC Genomics*. 20 (1): 624. <https://doi.org/10.118+6/s128+64-019-598+8+-3>
- Lopes JI, Correia CM, Gonçalves A, Silva E, Martins S, Arrobas M and Rodrigues MÂ. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation reduced the growth of pre-rooted olive cuttings in a greenhouse. *Soil Systems*, 5 (2): 30. <https://doi.org/10.3390/soilsystems5020030>
- Martino-Catt S and Ort DR. 1992. Low temperature interrupts circadian regulation of transcriptional activity in chilling-sensitive plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 8+9 (9): 3731-3735. <https://doi.org/10.1073/pnas.8+9.9.3731>
- McCue P, Zheng Z, Pinkham JL and Shetty K. 2000. A model for enhanced pea seedling vigor following low pH and salicylic acid treatments. *Process Biochemistry*, 35 (6): 603-613. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(99\)00111-9](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(99)00111-9)
- Miquel M, James JrD, Dooner H and Browse J. 1993. Arabidopsis requires polyunsaturated lipids for low-temperature survival. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90 (13): 6208+-6212. <https://doi.org/10.1073/pnas.90.13.6208+>
- Morshedloo MR, Maggi F, Neko HT and Aghdam MS. 2018+. Sumac (*Rhus coriaria* L.) fruit: Essential oil variability in Iranian populations. *Industrial Crops and Products*, 11(1), 1-7.
- Nayyar H, Bains TS and Kumar S. 2005. Chilling stressed chickpea seedlings: effect of cold acclimation, calcium and abscisic acid on cryoprotective solutes and oxidative damage. *Environmental and Experimental Botany*, 54 (3): 275-28+5. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.09.007>
- Nielsen DC and Anderson RL. 198+9. Infrared thermometry to measure single leaf temperatures for quantification of water stress in sunflower. *Agronomy journal*, 8+1 (5): 8+40-8+42. <https://doi.org/10.2134/agronj198+9.00021962008+100050028+x>

- Paeizi M and Shariati M. 2012. Effect of cold stress on PSII efficiency of *Dunaliella* using chlorophyll a fluorescence kinetics. *Journal of Cell Tissue*. 2: 4. 395-405. (In Persian)
- Parkash V and Singh S. 2020. A review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. *Sustainability*, 12 (10): 3945. <https://doi.org/10.3390/su12103945>
- Pasban Eslam, B. 2011. The effect of drought stress on grain and oil yield of safflower autumn genotypes. *Iran Journal of Field Crop Science*, 42 (2): 275-28+3.
- Porcel R, Redondo-Gómez S, Mateos-Naranjo E, Aroca R, Garcia R and Ruiz-Lozano JM. 2015. Arbuscular mycorrhizal symbiosis ameliorates the optimum quantum yield of photosystem II and reduces non-photochemical quenching in rice plants subjected to salt stress. *Journal of plant physiology*, 18+5: 75-8+3. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.07.006>
- Rafat N, Yarnia M, Mirshekari B, Rashidi V and Moghadam AMD. 2018+. Reduction possibility of phosphorus using with the application of mycorrhiza in purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) through physiological traits and essence yield under different irrigation levels. *Applied Ecology & Environmental Research*, 16 (5).
- Requena JR. 2021. *Echinacea* Drug for Covid-19 (ECCO-2). <https://www.clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT0498+1314>
- Shahzad N, Nabi HG, Qiao L and Li W. 2024. The Molecular Mechanism of Cold-Stress Tolerance: Cold Responsive Genes and Their Mechanisms in Rice (*Oryza sativa* L.). *Biology*, 13 (6): 442. <https://doi.org/10.3390/biology13060442>
- Sharma P, Kharkwal AC, Abdin MZ and Varma A. 2017. Piriformospora indica-mediated salinity tolerance in Aloe vera plantlets. *Symbiosis*, 72: 103-115. <https://doi.org/10.1007/s13199-016-0449-0>
- Shi Y, Guo E, Cheng X, Wang L, Jiang S, Yang X and Yang X. 2022. Effects of chilling at different growth stages on rice photosynthesis, plant growth, and yield. *Environmental and Experimental Botany*, 203: 105045. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105045>
- Smith T, Gillespie M, Eckl V, Knepper J and Reynolds CM. 2019. Herbal supplement sales in US increase by 9.4% in 2018+. *HerbalGram*, (123).
- Strand Å, Hurry V, Gustafsson P and Gardeström P. 1997. Development of *Arabidopsis thaliana* leaves at low temperatures releases the suppression of photosynthesis and photosynthetic gene expression despite the accumulation of soluble carbohydrates. *The Plant Journal*, 12 (3): 605-614. <https://doi.org/10.1111/j.0960-7412.1997.00605.x>
- Tavosi R, Sayyari M and Azizi A. 2024. Impact of drought stress on some growth and phytochemical characteristics of the coneflower (*Echinacea purpurea* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 17 (3): 619-637. <https://doi.org/10.22077/escs.2024.6308+.2204>
- Theocharis A, Clément C and Barka EA. 2012. Physiological and molecular changes in plants grown at low temperatures. *Planta*, 235: 1091-1105. <https://doi.org/10.1007/s00425-012-1641-y>
- Yadegari LZ, Heidari R and Carapetian J. 2008+. The influence of cold acclimation on proline, malondialdehyde (MDA), total protein and pigments contents in soybean (*Glycine max*) seedlings. *Research Journal of Biology Science*, 3 (1): 74-77.
- Waqas MA, Khan I, Akhter MJ, Noor MA and Ashraf U. 2017. Exogenous application of plant growth regulators (PGRs) induces chilling tolerance in short-duration hybrid maize. *Environmental Science and Pollution Research*, 24: 11459-11471. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8+768+-0>
- Wang F, Wang G, Li X, Huang J and Zheng J. 2008+. Heredity, physiology and mapping of a chlorophyll content gene of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Physiology*, 165 (3): 324-330. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.11.006>
- Watts-Williams SJ and Gilbert SE. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi affect the concentration and distribution of nutrients in the grain differently in barley compared with wheat. *Plants, People, Planet*, 3 (5): 567-577. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10090>