Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 53, No 3, Autumn 2022 (737-749)
DOI: 10.22059/ijhs.2022.319917.1901

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۱ (ص ۷۴۹-۷۳۷)

نشریه پژوهشی:

بررسی برخی پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو رقم بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) به مایکوریزا در شرایط تنش کم‌آبی

فاطمه ابراهیمی[۱]، امین صالحی[۲*]، محسن موحدی دهنوی[۲] و امین میرشکاری[۳]
۱، ۲ و ۳. دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۱۹ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۳)

چکیده

به منظور بررسی برخی خصوصیات گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) تحت تنش کم‌آبی در شرایط کاربرد قارچ مایکوریزا آربوسکولار، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ٤ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج انجام شد. عامل اول پتانسیل اسمزی در سه سطح (صفر، ٤- و ٨- بار)، عامل دوم کاربرد قارچ مایکوریزا آربوسکولار گونه *Funneliformis mosseae* در دو سطح (با و بدون کاربرد قارچ) و عامل سوم رقم در دو سطح (Bodegold و Soroksari) بودند. صفات مورد مطالعه شامل محتوای نسبی آب برگ، قندهای محلول، محتوای پرولین، کلروفیل کل، ارتفاع بوته، تعداد گل در بوته، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک گل در بوته و شاخص برداشت بود. نتایج نشان داد پتانسیل اسمزی در سطوح ٤- و ٨- بار سبب کاهش معنی‌دار کلروفیل کل برگ، محتوای نسبی آب برگ، ارتفاع بوته، تعداد گل در بوته، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک گل در بوته و شاخص برداشت شد، ولی میزان قندهای محلول برگ و محتوای پرولین برگ افزایش یافت. همچنین، تلقیح گیاهان با مایکوریزا تحت شرایط تنش کم‌آبی سبب افزایش معنی‌داری در محتوای پرولین برگ و قندهای محلول برگ هر دو رقم شد. نتایج نشان داد صفت کلیدی عملکرد گل در بوته و اجزای عملکرد در شرایط تنش کم آبی و کاربرد مایکوریزا در رقم سوروکساری نسبت به رقم بودگلد افزایش بیشتری نشان داد. به‌طور کلی، کاربرد قارچ مایکوریزا در هر دو رقم سبب افزایش مقاومت به تنش کم‌آبی در گیاه بابونه آلمانی شد.

واژه‌های کلیدی: بابونه، پتانسیل اسمزی، پرولین، رقم، کلروفیل.

Morpho-physiological responses of two cultivars of german chamomile (*Matricaria chamomilla*) to mycorrhiza application under water deficiet stress

Fatemeh Ebrahimi[1], Amin Salehi[2*], Mohsen Movahedi Dehnavi[2] and Amin Mirshekari[3]
1, 2, 3. Ph. D. Candidate, Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
(Received: Apr. 8, 2021- Accepted: Feb. 22, 2022)

ABSTRACT

In order to investigate some characteristics of German chamomile (*Matricaria chamomilla*) under water stress and application of mycorrhizal, an experiment was performed in factorial arrangement within a completely randomized design with four replications in research greenhouse of the Faculty of Agriculture at Yasouj University. The first factor was osmotic potential at three levels (zero, -4 and -8 bar), the second factor was the application of arbuscular mycorrhizal fungus Funneliformis mosseae at two levels (with and without the use of fungi) and the third factor was cultivars at two levels (Bodegold and Soroksari). The studied traits included: (relative water content, soluble sugars, proline content, total chlorophyll, plant height, number of flowers per plant, Shoot dry weight, dry weight of flowers and harvest index). The results showed that osmotic potential at -4 and -8 bar caused a significant reduction in traits such as total chlorophyll, relative water content, plant height, number of flowers per plant, dry weight of shoot, dry weight of flowers and index harvested, but the amount of soluble sugars in the leaves and the content of proline increased. Mycorrhizal application increased the amount of these traits. Also, inoculation of mycorrhiza plants under drought stress conditions significantly increased proline content and soluble sugars of both cultivars. The results showed that the key trait of flower yield and yield components under drought stress and application of mycorrhiza in Soroxari cultivar showed more increase than Budgold cultivar. In general, application of mycorrhiza in both cultivars increased drought stress resistance in German chamomile.

Keywords: Chamomile, chlorophyll, cultivars, osmotic potential, proline.

* Corresponding author E-mail: aminsalehi@yu.ac.ir

مقدمه

از بین عوامل بازدارنده محیطی، تنش کم آبی مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد و رشد محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود. به‌طوریکه با تأثیرگذاری بر آب قابل دسترس برگ‌ها سبب کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها شده و در عمل روزنه‌ها و سیستم فتوسنتزی اختلال ایجاد می‌کند (Michele *et al*., 2009). همچنین تنش کم‌آبی با تخریب پروتئین‌ها و آنزیم‌ها بر جنبه‌های مختلف رشد تأثیر گذاشته و سبب کاهش تولید و عملکرد گیاهان زراعی و دارویی، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود (Arve *et al*., 2011). یکی از راهکارهای گیاهان در پاسخ به تنش کم آبی افزایش مواد محلول و فعال اسمزی می‌باشد، که از جمله این ترکیبات می‌توان به کربوهیدرات‌ها، قندها، پلی‌ساکاریدها و اسیدهای‌آمینه اشاره کرد. با این سازوکار فشار تورژسانس سلول‌های خود را بالا نگه می‌دارند و به تنظیم اسمزی کمک می‌کنند (Al-Arjani *et al*., 2020). تولید ماده خشک گیاه در شرایط تنش کم آبی به اقلیم و شرایط خاک بستگی دارد و مقدار آب قابل دسترس و کارایی مصرف آب گیاه را متأثر می‌سازد. تأثیر تنش کم آبی بر هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده گل می‌تواند منجر به تغییر در عملکرد گیاه بابونه، اجزای عملکرد و از جمله تغییر در میزان گل تولیدی شود (Tasdighi *et al*., 2015). معمولاً تنش کم آبی منجر به کاهش زیست توده تولیدی و همچنین عملکرد گل می‌گردد، که این کاهش در طی افزایش سطح تنش خشکی براساس نظر (2009) Myung-Min *et al*. می‌تواند مربوط به کاهش آب در سلول‌های برگ، بسته شدن روزنه‌ها و درنتیجه کاهش فتوسنتز باشد. میزان مصرف گیاهان دارویی در سراسر جهان روز به روز در حال افزایش است و یکی از گیاهان دارویی مهم که در طب سنتی و جدید مورد استفاده قرار می‌گیرد بابونه آلمانی می‌باشد (Ayoughi *et al*., 2011). بابونه آلمانی با نام علمی *Matricaria chamomilla* و متعلق به تیره کاسنی (Asteraseae) است که عمدتاً به‌منظور استفاده از اسانس آن کشت می‌شود (Tasdighi *et al*., 2015). گل بابونه آلمانی و ترکیبات استخراج شده از آن، دارای فعالیت ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی بوده و به عنوان داروهای ضد درد، اضطراب، اسپاسم و التهابی و اختلالات گوارشی استفاده می‌شود (Rehmat *et al*., 2020). با توجه به افزایش روزافزون نیاز به فراورده‌های دارویی و بهداشتی وابسته به گیاهان دارویی مانند بابونه نیاز به افزایش کشت کار و تولید آنان احساس می‌شود.

با توجه به اهمیت فراوان گیاه دارویی بابونه آلمانی، شناخت بهتر این گیاه و انتخاب رقم مقاوم در برابر تنش کم آبی مورد نیاز می‌باشد. گزارش شده است که گونه‌های بابونه بومی و سازگار با اقلیم ایران میزان بسیار کمی کامازولن و اسانس دارد (Azizi, 2007). Soroksári و Bodegold از ارقام مهم تجاری بابونه آلمانی می‌باشند. رقم Bodegold تتراپلوئید می‌باشد و گزارش شده است که این رقم نسبت به سایر گونه‌های دیپلوئیدی و تتراپلوئیدی بابونه مانند Goral (تتراپلوئیدی)، Zloty Lan (تتراپلوئیدی)، Lutea (تتراپلوئیدی) و Banatska (دیپلوئیدی) از اسانس و وزن خشک کل بیشتری برخوردار می‌باشد (Tsivelika *et al*., 2018). همچنین رقم Soroksári که دیپلوئید می‌باشد دارای میزان اسانس مطلوب در مقایسه با ارقام Lutea، Goral (تتراپلوئیدی) و Bona (دیپلوئید) می‌باشد (Gosztola *et al*., 2010). براساس تحقیق انجام شده توسط Nazarli *et al*. (2014) رقم بودگلد و سوروکساری مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد سطح اسمولیت (پرولین و قند محلول) بودگلد بیشتر از سوروکساری بود و در نتیجه میزان مالون‌دی‌آلدهید در بودگلد کمتر از سوروکساری در شرایط تنش کم آبی بود (Nazarli *et al*., 2014). قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار یکی از انواع کودهای زیستی بوده که با ریشه اغلب گیاهان همزیستی تشکیل می‌دهند و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی سبب کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی و بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان می‌شود. بنابراین، جهت کاهش آسیب‌های تنش کم آبی، استفاده از روابط همزیستی گیاه و مایکوریزا به عنوان یک راهکار مؤثر مطرح می‌شود (Kazemi *et al*., 2017). طی پژوهشی Auge *et al*. (2015) بیان کردند

که مایکوریزا احتمالاً از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و طویل کردن سیستم ریشه گیاه میزبان و افزایش سطح جذب از طریق ریسه‌های قارچ، میزان آب بیشتری جذب کرده و باعث بهبود روابط آبی گیاه میزبان می‌گردد.

اگرچه مطالعات زیادی برای ارزیابی تحمل به تنش کم آبی در گونه‌های دارویی مختلف انجام شده است، ولی در رابطه با اثر تنش کم آبی و قارچ مایکوریزا بر ارقام مختلف بابونه آلمانی مطالعه‌ای صورت نگرفته است. بنابراین پژوهش حاصل با هدف بررسی تأثیر قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی دو رقم بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) در شرایط تنش کم آبی انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

تیمارها و شیوه‌ی اجرای آزمایش

آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج با دمای حداقل ۲۰ درجه سانتی‌گراد و حداکثر ۲۷ درجه سانتی‌گراد اجرا شد. عامل اول شامل تنش کم آبی در ۳ سطح (۰، ۴- و ۸- بار) بود. سطوح مختلف تنش کم آبی با استفاده از پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ از طریق روش (Michel & Kaufman, 1973) تهیه و در محلول غذایی هوگلند اعمال شد. عامل دوم کاربرد کود مایکوریزا آربوسکولار گونه *funneliformis mosseae* (با و بدون کاربرد قارچ) بود. و عامل سوم شامل دو رقم بابونه آلمانی (Bodegold و Soroksari) بود. برای هر واحد آزمایشی دو گلدان در نظر گرفته و در نهایت آزمایش با ۹۶ گلدان انجام شد.

برای تهیه نشاء از هر دو رقم بابونه آلمانی، ابتدا بستر کشتی از پیت ماس و کوکوپیت به نسبت ۱:۲ تهیه و توسط دستگاه اتوکلاو ضدعفونی گردید. همچنین سینی‌های نشاء و بذر دو رقم با هیپوکلریت سدیم ۱٪ به مدت یک دقیقه ضدعفونی و پس از آن با آب مقطر شستشو داده شد و سینی نشاء با بستر کشت تهیه شده پر شدند. سپس بذر هر دو رقم به صورت سطحی کشت و در دوره‌ی جوانه زنی با آب مقطر آبیاری شدند. محلول غذایی هوگلند در آب مقطر حل گردید و بعد از جوانه‌زنی کامل بذرها، گیاهچه‌ها با یک چهارم غلظت محلول غذایی هوگلند آبیاری گردید و از مرحله ۴-۲ برگی با یک دوم غلظت محلول غذایی هوگلند آبیاری شدند.

نشاهای بابونه در مرحله ۶-۴ برگی به گلدان‌های پلاستیکی (در هر گلدان ۶ نشاء) به ارتفاع ۲۵ و قطر ۱۸ سانتی‌متر که با پرلیت (ضدعفونی شده با دستگاه اتوکلاو) پر شده بودند منتقل شدند. در هنگام کاشت، نشاءها با قارچ مایکوریزا تلقیح داده شدند و برای هر گلدان به‌میزان ۵۰ گرم از خاک حاوی اسپور قارچ استفاده شد، همچنین جمعیت آن‌ها در هر گرم کود مایکوریزا ۳۰۰ اسپور زنده بود. از مرحله ۶-۴ برگی با محلول غذایی هوگلند کامل آبیاری شدند. pH محلول‌ها هر بار قبل از آبیاری روی ۵/۸ تنظیم شد. اعمال تنش پس از انتقال گیاهچه‌های ۶-۴ برگی به صورت تدریجی در هوگلند کامل همزمان با آبیاری در طول یک هفته صورت گرفت و تنش‌ها از هفته‌ی دوم انتقال به طور کامل اعمال شدند و تا زمان رسیدگی ۸۰ درصد گل‌ها ۳روز یکبار ادامه یافت. سطوح تنش خشکی توسط PEG بر اساس فرمول ارائه شده توسط میچل و کافمن (۱۹۷۳) با پتانسیل اسمزی براورد گردید. سطوح تنش در محلول غذایی کامل که به صورت روزانه تهیه می‌گشت اعمال گردید. به منظور جلوگیری از تجمع یون و مواد در بستر کشت قبل از هر ابیاری بستر گلدان‌ها به طور کامل با اب معمولی ابشویی شده و بلافاصله آبیاری و اعمال تنش صورت می‌گرفت. بذرهای بابونه رقم Bodegold از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان و رقم Soroksari از شرکت زردبند یاسوج تهیه گردید. کود مایکوریزا آربوسکولار گونه *funneliformis mosseae* نیز از کلینیک گیاهپزشکی ارگانیک همدان تهیه شد.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک

پس از ۲۱ روز اعمال تنش کم آبی از هر گلدان پنج بوته انتخاب گردید و نمونه‌گیری از برگ‌های بالایی جوان و کاملاً باز شده بوته‌ها در صبح زود انجام شد.

به منظور جلوگیری از تغییر میزان پرولین، پروتئین، کلروفیل، کاروتنوئید و قندهای محلول، نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در ظرف حاوی یخ، به آزمایشگاه منتقل شده و تا زمان استفاده در دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب (RWC)، از روش (Mishra & Choudhuri, 1999) استفاده شد. در نهایت مقدار محتوای آب نسبی برگ‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

محتوای نسبی آب برگ (درصد) =

$((FW - DW) / (SW - DW)) \times 100$

که در این رابطه Fw: وزن تر برگ، DW: وزن خشک برگ و SW: وزن اشباع برگ می‌باشند.

رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل کل با روش (Arnon, 1949) و در سه طول موج ۴۷۰، ۶۴۶ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر محاسبه شد. محتوای پرولین برگ نمونه‌ها با استفاده از روش Paquin & Le chasseur (1979) اندازه‌گیری شد و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت گردید. برای اندازه‌گیری قند محلول از روش (Irigoyen *et al.*, 1992) استفاده شد و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید.

نمونه‌گیری برای وزن خشک اندام هوایی و گل

تعداد پنج بوته موجود در گلدان مختص به صفات مورفولوژیک جدا گردید و پس از شستشو با آب مقطر و خشک شدن در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، با ترازو وزن شدند و میانگین آن‌ها یادداشت گردید.

$$\text{شاخص برداشت} = \frac{\text{وزن خشک گل}}{\text{وزن خشک اندام هوایی}} \times ۱۰۰$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و مقایسه میانگین‌ها برای اثرهای اصلی که معنی‌دار شدند، با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه گردید. برای صفاتی که برهم‌کنش دو عامل معنی‌دار گردید برش‌دهی بر اساس پتانسیل اسمزی و مقایسه میانگین با رویه L.S.Means انجام شد. نمودارها نیز با کمک نرم‌افزار Excel رسم گردیدند.

نتایج و بحث

صفات فیزیولوژیکی

کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس بیانگر معنی‌داری برهم‌کنش دوگانه پتانسیل اسمزی و رقم و همچنین برهم‌کنش دوگانه پتانسیل اسمزی و مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد بر کلروفیل کل بود (جدول ۱). مقایسه میانگین سطوح رقم در هر سطح پتانسیل اسمزی نشان داد با افزایش در سطوح پتانسیل اسمزی میزان کلروفیل a،b و کل(a+b) نیز کاهش یافت. بیشترین میزان کلروفیل کل مربوط به رقم سوروکساری (۳/۰۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) در سطح شاهد بود که برتری ۲۲/۴۸ درصدی نسبت به رقم بودگلد داشت و با افزایش سطوح پتانسیل اسمزی، میزان کلروفیل a و b و در نتیجه کلروفیل کل در هر دو رقم روند کاهشی داشت (جدول ۲). در مقایسه میانگین سطوح مایکوریزا در هر سطح پتانسیل اسمزی بیشترین میزان کلروفیل a،b و کل مربوط به سطح صفر با کاربرد مایکوریزا می‌باشد و با افزایش در سطوح پتانسیل اسمزی اگرچه میزان کلروفیل روند کاهشی داشت اما مایکوریزا توانست اثرات منفی پتانسیل اسمزی را در تنش متوسط و تنش شدید به‌ترتیب ۱۷/۹۱ و ۲/۱۹ درصد کاهش دهد (جدول ۳). در شرایط تنش کم آبی، کاهش انتقال مواد معدنی و عناصر غذایی ضروری برگ در اثر کاهش مکشی ناشی از تعرق در آوند چوب سبب افزایش تولید گونه اکسیژن فعال (ROS) در سلول‌های برگی می‌شود. ROSها سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شوند و اثر بازدارنده بر فعالیت‌های مختلف دستگاه فتوسنتزی بخصوص فعالیت فتوسیستمII، می‌گذارد و باعث تخریب غشای تیلاکوئیدی، از بین رفتن ساختار سلولی و اختلال در آنزیم‌های سلول می‌شود. از جمله کلروفیل که عامل

اصلی در فرایند فتوسنتز می‌باشد و در نتیجه کاهش آسیمیلات‌سازی را در پی دارد (Hosseinzadeh *et al*., 2016). به‌نظر می‌رسد که کاهش غلظت کلروفیل تحت شرایط خشکی به واسطه اثر آنزیم‌های کلروفیلاز، پراکسیداز و در نتیجه تجزیه کلروفیل باشد (Chaudhary *et al*., 2007). قارچ مایکوریزا با حفظ رطوبت خاک و با در دسترس قرار دادن حجم بیشتری از خاک در اختیار ریشه گیاه باعث جذب بیشتر عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و آهن می‌شود و با توجه به ارتباط مستقیم بین این عناصر و میزان کلروفیل، سبب افزایش میزان کلروفیل کل در بابونه آلمانی شده است. در پژوهشی توسط Mazaraei *et al*. (2017) بیان گردید که مایکوریزا ازطریق افزایش جذب فسفر به عنوان یک حامل انرژی طی فتوسنتز سبب افزایش میزان کلروفیل کل می‌شود.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر پتانسیل اسمزی، مایکوریزا و رقم بر صفات فیزیولوژیکی بابونه آلمانی.

Table 1. Results of variance analysis effect of osmotic potential, mycorrhiza and cultivar on physiological traits of german chamomile.

Source of variation	d.f.	Mean of squares			
		Total chlorophyll (Chl a+b)	Relative water content	Total soluble sugars	Leaf proline
Osmotic potential	2	13.99**	650.56**	36248.39**	136.50**
Mycorrhiza	1	1.89**	4.17^{ns}	2693.25**	16.54**
Cultivar	1	0.75**	170.06**	753.58**	30.56**
Osmotic potential× Mycorrhiza	2	0.08**	44.47**	419.88**	1.12**
Osmotic potential× Cultivar	2	0.09**	180.64**	79.14**	0.04**
Mycorrhiza× Cultivar	1	0.0007^{ns}	31.47**	6.87^{ns}	0.44**
Osmotic potential× Mycorrhiza× Cultivar	2	0.006^{ns}	11.15^{ns}	17.11^{ns}	0.43**
Error	36	0.005	7.01	7.40	0.006
C.V (%)	-	4.09	4.32	2.92	1.32

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

ns, * ,**: Non-significantly difference and significantly difference at 5% and 1% probability level, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل پتانسیل اسمزی و رقم بر میزان کلروفیل کل، محتوای نسبی آب برگ و قندهای محلول برگ بابونه آلمانی.

Table 2. Mean comparison interaction effect of osmotic potential and cultivar on total chlorophyll content, relative leaf water soluble sugar of german chamomile.

Osmotic potential (bar)	Variety	Total chlorophyll (mg g $^{-1}$FW)	Relative water content (%)	Total soluble sugars (mg g^{-1} FW)
0	Bodegold	2.49b	80.96b	38.62b
	Soroksari	3.05a	91.61a	44.40a
-4	Bodegold	1.41b	56.71b	89.10b
	Soroksari	1.75a	67.75a	115.13a
-8	Bodegold	0.78b	36.10b	128.81b
	Soroksari	1.07a	49.54a	141.96a

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل پتانسیل اسمزی و مایکوریزا بر میزان کلروفیل کل، محتوای نسبی آب برگ و قندهای محلول برگ بابونه آلمانی.

Table 3. Mean comparison interaction effect of osmotic potential and mycorrhiza on total chlorophyll content, relative leaf water content and leaf soluble sugars of german chamomile.

Osmotic potential (bar)	Mycorrhiza	Total chlorophyll (mg g -1FW)	Relative water content (%)	Total soluble sugars (mg g-1 FW)
0	without	2.59b	84.69b	36.04b
	with	2.95a	87.88a	46.93a
-4	without	1.42b	60.03b	97.11b
	with	1.73a	64.43a	107.12a
-8	without	0.89a	42.46a	133.98a
	with	0.91a	44.18a	136.79a

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) حاکی از معنی‌داری برهم‌کنش دوگانه پتانسیل اسمزی و رقم، پتانسیل اسمزی و مایکوریزا و مایکوریزا و رقم، و در سطح احتمال یک درصد بر میزان محتوای نسبی آب برگ می‌باشد. مقایسه میانگین سطوح رقم در هر سطح پتانسیل اسمزی نشان داد افزایش در سطوح تنشی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ در هر دو رقم گردید با این وجود رقم سوروکساری در هر سه سطح عدم اعمال پتانسیل اسمزی، ۴- و ۸- بار به‌ترتیب ۱۳/۱۵، ۱۹/۴۶ و ۳۷/۲۲ درصد نسبت به رقم بودگلد برتری داشت (جدول۲). مقایسه میانگین سطوح مایکوریزا در هر سطح پتانسیل اسمزی نشان داد کاربرد مایکوریزا به‌طور معنی‌داری میزان محتوای نسبی آب برگ را نسبت به عدم کاربرد مایکوریزا در هر سه سطح پتانسیل اسمزی افزایش داد و بیشترین میزان آن (۷/۳۲ درصد) مربوط به تنش متوسط (۴- بار) می‌باشد (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح رقم در هر سطح مایکوریزا نشان داد مایکوریزا در رقم بودگلد اثر افزاینده ۳/۷۹ درصدی بر میزان محتوای نسبی آب برگ دارد اما در رقم سوروکساری تفاوت معنی‌داری بین دو سطح کاربرد و عدم کاربرد مایکوریزا مشاهده نشد (جدول ۴). کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق از جامعه گیاهی از عوامل مؤثر در کاهش محتوای نسبی آب در شرایط کمبود فراهمی آب شناخته شده‌اند. به‌نظر می‌رسد گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین‌سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود که این امر موجب کاهش محتوای آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Mohammadi *et al*., 2016). در یک بررسی توسط Auge *et al*. (2015) گزارش گردید که مایکوریزا احتمالاً از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و طویل کردن سیستم ریشه گیاه میزبان و افزایش سطح جذب از طریق هیف‌های قارچ، میزان آب بیشتری جذب کرده و باعث بهبود روابط آبی گیاه میزبان می‌گردد که با یافته‌های تحقیق حاضر هم‌راستایی دارد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و مایکوریزا بر محتوای نسبی آب برگ بابونه آلمانی.

Table 4. Mean comparison interaction effect of cultivar and mycorrhiza on leaf relative water content of german chamomile.

Variety	Mycorrhiza	Relative water content (%)
Bodegold	without	58.30b
	with	60.51a
Soroksari	without	62.66a
	with	63.69a

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

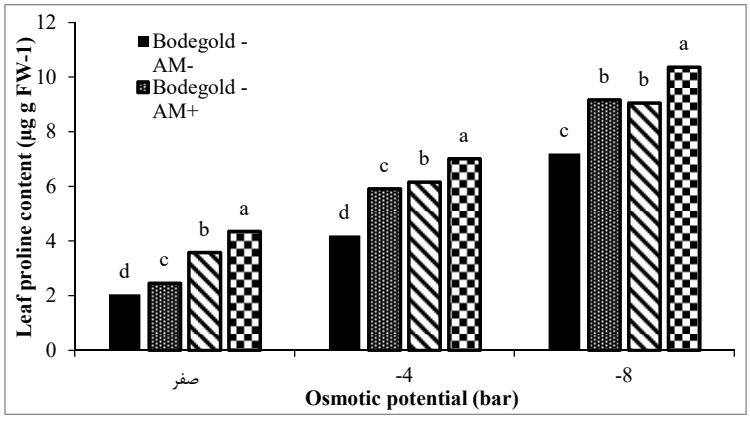
قندهای محلول برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۱) برهم‌کنش دوگانه پتانسل اسمزی در رقم و پتانسیل اسمزی در مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد بر میزان قندهای محلول برگ معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین سطوح رقم در هر سطح پتانسیل اسمزی نشان از افزایش میزان قندهای محلول در هر دو رقم با افزایش در سطوح پتانسیل اسمزی دارد و در هر سه سطح پتانسیل اسمزی برتری رقم سوروکساری مشاهده می‌شود، به‌گونه‌ای که میزان قندهای محلول برگ در رقم سوروکساری در سطوح عدم اعمال پتانسیل اسمزی، ۴- و ۸- بار به‌ترتیب ۱۵/۰۲، ۲۹/۲۱ و ۱۰/۲۰ درصد بیشتر از رقم بودگلد بود (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح مایکوریزا در هر سطح پتانسیل اسمزی نشان داد با افزایش در سطوح پتانسیل اسمزی میزان قندهای محلول افزایش یافت. مایکوریزا نیز در سطوح عدم اعمال پتانسیل اسمزی، ۴- و ۸- بار به‌ترتیب ۳۰/۲۱، ۱۰/۳۰ و ۲/۰۵ درصد میزان قندهای محلول برگ را افزایش داد (جدول ۳). در شرایط کمبود آب، پتانسیل آب خاک کاهش می‌یابد و در این شرایط گیاهان برای ادامه جذب به تنظیم اسمزی روی می‌آورند که برای تحقق آن مجموعه‌ای از ترکیبات اسمزی نظیر کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و یون‌های غیرآلی در سلول‌ها تجمع می‌یابد. افزایش قندهای محلول در پاسخ به وقوع تنش کمبود آب می‌تواند با افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز و هیدرولیز نشاسته به قندهای ساده و کند شدن انتقال قندها از برگ به سایر مراکز رشد گیاه مرتبط باشد (Zhang *et*

al., 2010). نتایج حاصل از بررسی Kabiri *et al*. (2013) بر گیاه سیاهدانه نیز نشان داد که با افزایش سطوح تنش کم آبی، میزان قندهای محلول برگ افزایش یافت. همزیستی مایکوریزا با گیاه بر پایه تبادل کربوهیدرات‌ها و مواد غذایی بین گیاهان و قارچ‌ها استوار می‌باشد. عنصر فسفر در شکستن کربوهیدرات‌ها و سنتز پلی‌ساکاریدها و به‌ویژه در سنتز نشاسته از گلوکز موثر می‌باشد. Demir (2004) در گیاهان فلفل نشان داد که میزان قند فروکتوز، گلوکز و ساکارز و همچنین قند کل در همزیستی با مایکوریزا به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان غیر همزیست بود. دلیل دیگر افزایش محتوای قند، افزایش سطح هورمون‌های گیاهی مانند سیتوکنین و جیبرلین در گیاهان تلقیحی می‌باشد. افزایش در این هورمون‌ها به‌ویژه سیتوکنین می‌تواند با انتقال یون‌های مؤثر در باز شدن روزنه‌ها و تنظیم سطح کلروفیل، موجب بالا رفتن سرعت فتوسنتز و در نهایت افزایش محتوای کربوهیدرات‌ها در گیاهان شود (Arve *et al*., 2011).

محتوای پرولین برگ

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد برهم‌کنش سه‌گانه پتانسیل اسمزی، مایکوریزا و رقم بر میزان پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین برهم‌کنش اثر مایکوریزا و رقم در هر سطح پتانسیل اسمزی برای محتوای پرولین برگ نشان داد با افزایش در سطوح پتانسیل اسمزی محتوای پرولین در هر دو رقم افزایش یافت. به‌طوریکه در دو سطح عدم اعمال پتانسیل اسمزی، ۴- و ۸- بار رقم سوروکساری همراه با کاربرد مایکوریزا به‌ترتیب برتری ۷۷/۲۳، ۱۸/۷۸ و ۱۳/۰۷ درصدی نسبت به رقم بودگلد داشت (شکل ۱). در شرایط تنش کم آبی اسیدآمینه پرولین نقش آنتی‌اکسیدانی در حفاظت از غشاهای سلول را دارد که افزایش آن باعث حفظ فشار آماس و ادامه رشد سلول می‌گردد. تخریب پروتئین‌ها و انباشت برخی آمینواسیدهای آزاد در جهت حفظ و تنظیم فشار اسمزی سلول و کاهش سنتز پروتئین در شرایط تنش کم آبی مشاهده شده است (Ali *et al*., 2014). در بسیاری ازگیاهان افزایش پرولین در شرایط تنش کم‌آبی مشاهده شده است. در گیاه گلرنگ گزارش شد که با افزایش تنش کم آبی، محتوای پرولین افزایش یافت (Movahhedi Dehnavi *et al*., 2004). Gorgini Shabankareh *et al*. (2021) نیز در پژوهشی روی گیاه دارویی اسطوخودوس مشاهده نمودند کم‌آبیاری منجر به افزایش ۰/۹۱ درصدی پرولین شد. پرولین به عنوان منبع نیتروژن در شرایط تنشی در گیاه می‌باشد، مایکوریزا با جذب بیشتر این عنصر سبب افزایش در تولید پرولین و مقاومت بیشترگیاه به تنش کم آبی می‌شود همچنین مایکوریزا باعث افزایش پرولین در گیاه سرخارگل در شرایط تنش کم آبی شده است (Attarzadeh, *et al*., 2019).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل پتانسیل اسمزی، مایکوریزا و رقم بر محتوای پرولین برگ بابونه آلمانی.

Figure 1. Mean comparison interaction effect of osmotic potential, cultivar and mycorrhiza on leaf proline content of german chamomile.

صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانش نشان از معنی‌داری اثر دوگانه مایکوریزا در رقم و پتانسیل اسمزی در رقم بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد دارد (جدول ۵). مقایسه میانگین سطوح رقم در هر سطح پتانسیل اسمزی نشان داد با افزایش در سطوح پتانسیل اسمزی ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری در هر دو رقم کاهش یافت. در تمام سطوح پتانسیل اسمزی برتری با رقم سوروکساری بود به‌طوریکه در سطوح عدم اعمال پتانسیل اسمزی، ۴- و ۸- بار رقم سوروکساری به‌ترتیب ۴۰/۳۹، ۲۳/۹۳ و ۷۱/۶۴ درصد برتر از رقم بودگلد بود (جدول ۶). مقایسه میانگین سطوح مایکوریزا در هر سطح رقم معنی‌دار شد به‌طوریکه ارتفاع هر دو رقم بودگلد و سوروکساری به‌ترتیب ۵/۹۵ و ۸/۶۶ سانتی‌متر بود که با کاربرد مایکوریزا ارتفاع بوته در رقم بودگلد به ۹/۲۱ سانتی‌متر و در رقم سوروکساری به ۱۷/۶۶ سانتی‌متر افزایش یافت (جدول ۷). رشد و ارتفاع بوته به شرایط محیطی که گیاه در آن رشد می‌کند وابسته است. یکی از این شرایط، فراهم بودن آب کافی برای گیاه است. از آنجایی که در شرایط تنش کم آبی محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (جدول۲، جدول۳ و جدول۴)، بدنبال آن روزنه‌ها بسته شده و کاهش فتوسنتز و کاهش فشار تورژسانس رخ می‌دهد که در نتیجه آن ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از پژوهش Farhoudi & Modhej (2018)، بیانگر کاهش رشد رویشی در سیاهدانه تحت تنش کم آبی بود. در آزمایش Azimi *et al*. (2013)، تلقیح گیاه آویشن باغی با مایکوریزا تحت شرایط تنش کم آبی سبب افزایش در ارتفاع بوته شد.

تعداد گل در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان از معنی‌داری برهم‌کنش سه گانه پتانسیل اسمزی، مایکوریزا و رقم در سطح احتمال یک درصد بر تعداد گل در بوته دارد (جدول ۵). مقایسه میانگین نشان از کاهش تعداد گل در بوته با افزایش در سطوح پتانسیل اسمزی دارد. در سطح عدم اعمال پتانسیل اسمزی رقم سوروکساری همراه با کاربرد مایکوریزا برتری ۸/۸۷ درصدی نسبت به همین سطح در رقم بودگلد داشت و تفاوت معنی‌داری میان رقم بودگلد با کاربرد مایکوریزا و رقم سوروکساری بدون کاربرد مایکوریزا مشاهده نشد. در سطح تنش متوسط (۴- بار) مایکوریزا باعث افزایش ۴۰/۴۳ درصدی در رقم بودگلد و ۳۱/۱۶ درصدی در رقم سوروکساری بر تعداد گل شد که تفاوت معنی‌داری میان هر دو رقم با کاربرد مایکوریزا مشاهده نشد. تنش شدید (۸- بار) نسبت به تنش متوسط به‌ترتیب در رقم بودگلد و سوروکساری ۵۰/۶۱ و ۵۰/۰۹ درصد تعداد گل در بوته را کاهش داد (شکل ۲).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر پتانسیل اسمزی، مایکوریزا و رقم بر صفات مورفولوژیکی و شاخص برداشت بابونه آلمانی.

Table 5. Results of variance analysis effect of osmotic potential, mycorrhiza and cultivar on traits and harvest index of german chamomile.

Source of variation	d.f.	Mean of square				
		Plant height	Number of flowers per plant	Shoot dry weight per plant	Flower dry weight per plant	Harvest index
Osmotic potential	2	556.43**	8653.73**	1.09**	0.32**	43.031**
Mycorrhiza	1	471.50**	385.33**	0.083**	0.02**	11.198**
Cultivar	1	638.31**	1004.67**	0.015**	0.0064**	0.322^{ns}
Osmotic potential× Mycorrhiza	2	2.62^{ns}	31.66*	0.017**	0.0036**	38.108**
Osmotic potential× Cultivar	2	747.81**	48.62**	0.148**	0.0009**	4. 273**
Mycorrhiza× Cultivar	1	14.38**	0.75^{ns}	0.0068**	0.000005^{ns}	2.553**
Osmotic potential× Mycorrhiza× Cultivar	2	1.30^{ns}	11.92**	0.0058**	0.0037**	1.567**
Error	36	1.59	0.007	0.0001	0.00009	0.135
C.V (%)		4.61	1.34	2.25	4.58	4.95

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

ns, * ,**: Non-significantly difference and significantly difference at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل پتانسیل اسمزی و رقم بر ارتفاع بوته بابونه آلمانی.

Table 6. Meam comparison interaction effect of osmotic potential and cultivar on plant height of german chamomile.

Osmotic potential (bar)	Variety	Plant height (cm)
0	Bodegold	10.55b
	Soroksari	17.70a
- 4	Bodegold	9.60b
	Soroksari	12.62a
- 8	Bodegold	2.60b
	Soroksari	9.17a

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

برای تشکیل گل نیاز به رشد رویشی مناسب و تولید اندام‌های تشکیل‌دهنده آن مانند شاخه‌های جانبی در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی می‌باشد. تأثیر تنش کم آبی بر هر یک از اجزای تشکیل دهنده گل می‌تواند منجر به تغییر در تعداد گل تولیدی شود. در یک مطالعه، کاهش تعداد گل در بوته تحت تنش کم آبی، به‌علت اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به اندام هوایی گزارش (Myung-Min *et al*., 2009). رشد کم یک حالت سازگارکننده برای زنده ماندن گیاه تحت شرایط تنش است، مایکوریزا با افزایش انتقال مواد و عناصر غذایی سبب افزایش در شاخص‌های رویشی گیاه از جمله از جمله تعداد گل در بوته می‌شود (Esmaielpour *et al*., 2013).

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و مایکوریزا بر ارتفاع بوته بابونه آلمانی.

Table 7. Mean comparison interaction effect of cultivar and mycorrhizal on plant height of german chamomile.

Variety	Mycorrhiza	Plant height (cm)
Bodegold	without	5.95b
	with	9.21a
Soroksari	without	8.66b
	with	17.66a

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

وزن خشک اندام هوایی

جدول تجزیه واریانس بیانگر معنی‌داری برهم‌کنش سه‌گانه پتانسیل اسمزی، مایکوریزا و رقم در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک اندام هوایی می‌باشد (جدول ۵). مقایسه میانگین برهم‌کنش مایکوریزا و رقم در هر سطح پتانسیل اسمزی نشان داد با افزایش در سطوح تنشی میزان وزن خشک اندام هوایی کاهش یافته است. در سطح عدم اعمال پتانسیل اسمزی رقم سوروکساری در دو سطح عدم کاربرد و کاربرد مایکوریزا به‌ترتیب ۲۳/۸۸ و ۲۲/۲۲ درصد نسبت به رقم بودگلد برتری داشت. در سطح ۴- بار نیز رقم سوروکساری با کاربرد مایکوریزا (۰/۷۶ گرم) برتر از رقم بودگلد (۰/۵۶ گرم) بود. در سطح ۸- بار بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی مربوط به رقم بودگلد (۰/۳۷ گرم) با کاربرد مایکوریزا بود، کاربرد مایکوریزا در هر دو رقم باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی شد (جدول ۸). محققان کاهش عملکرد زیست توده در شرایط کم آبی را گزارش کردند و بیان نمودند کاهش عملکرد گیاه می‌تواند به دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده، کاهش تولید کلروفیل، افزایش انرژی مصرفی گیاه برای بالا بردن غلظت شیره سلولی، تغییر در مسیرهای تنفسی و یا افزایش حجم ریشه باشد (Kabiri *et al*., 2013). Salahiostad *et al*. (2022) بیان کردند آب یکی از فاکتورهای اساسی در عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی می‌باشد و در پژوهش آن‌ها مشخص شد کم‌آبی موجب کاهش وزن خشک برگ و ساقه گیاه ریحان شد. در پژوهشی توسط Azimi *et al*. (2013)، مشاهده شد که مایکوریزا از طریق فراهم کردن بیشتر عناصر غذایی نظیر فسفر، منگنز و آهن و همچنین از طریق افزایش قندهای محلول و کلروفیل در برگ‌های گیاه دارویی آویشن باغی موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی گردید. در شرایط کم آبی، جذب مواد و عناصر غذایی کاهش می‌یابد و بنابراین رشد و توسعه برگ‌ها محدود می‌شود. متعاقب کاهش سطح برگ، جذب نور نیز کاهش می‌یابد و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش یافته و بدیهی است با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی گیاه در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و در نهایت عملکرد گیاه دچار نقصان می‌شود (Ashraf & Foolad, 2007).

وزن خشک گل در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان از معنی‌داری

اثر سه‌گانه پتانسیل اسمزی، مایکوریزا و رقم بر وزن خشک گل در سطح احتمال یک درصد دارد (جدول ۵). مقایسه میانگین برهم‌کنش مایکوریزا و رقم در هر سطح پتانسیل اسمزی نشان داد با افزایش در سطوح پتانسیل اسمزی میزان وزن خشک گل کاهش پیدا کرد و بین هر دو رقم با کاربرد مایکوریزا در سطوح عدم اعمال پتانسیل اسمزی و ۸- بار تفاوت معنی‌دار وجود دارد اما در هر دو رقم بدون کاربرد مایکوریزا تفاوت معنی‌داری یافت نشد. در سطح عدم اعمال پتانسیل اسمزی مایکوریزا در رقم بودگلد و سوروکساری به‌ترتیب ۱۲/۰۳ و ۲۰/۹۸درصد، درسطح ۴- بار به‌ترتیب ۲۵/۰۶ و ۴۰/۳۶ درصد و در سطح ۸- بار به‌ترتیب ۱۶/۹۰ و ۲۸/۱۶ درصد وزن خشک گل را افزایش داد (جدول ۸). در نتایج پژوهش Ahmadian *et al.* (2011)، مشخص شد با افزایش در سطوح تنش کم آبی، وزن خشک گل در بابونه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که نتیجه اختصاص بیشتر مواد به ریشه و کمبود مواد غذایی برای انتقال به گل و افزایش عملکرد می‌باشد. تلقیح گیاه با مایکوریزا آربوسکولار به‌دلیل جذب و انتقال آب و عناصر غذایی بیشتر سبب افزایش تعداد شاخه جانبی و تعداد گل می‌شود و در نهایت وزن خشک گل را افزایش می‌دهد (Smith & Smith, 2012).

شاخص برداشت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان از معنی‌داری اثر سه‌گانه پتانسیل اسمزی، مایکوریزا و رقم بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد دارد (جدول ۵). مقایسه میانگین برهم‌کنش مایکوریزا و رقم در هر سطح پتانسیل اسمزی نشان داد با افزایش در سطوح پتانسیل اسمزی شاخص برداشت کاهش پیدا کرد و بین هر دو رقم با کاربرد مایکوریزا در سطوح عدم اعمال پتانسیل اسمزی و ۸- بار تفاوت معنی‌دار وجود دارد. بیشترین میزان شاخص برداشت از تیمار شاهد (عدم تنش کم‌آبی)، رقم بودگلد و در شرایط کاربر مایکوریزا به دست آمد. در سطح تنش منفی ۴- بار بیشترین میزان این صفت از رقم بودگلد و در در شرایط کاربرد میکوریزا و در تنش منفی ۸- بار بیشترین میزان از رقم سوروکساری و کاربرد میکوریزا مشاهده شد (جدول ۸). نتایج نشان‌دهنده کاهش عملکرد اقتصادی (وزن خشک گل) نسبت به عملکرد بیولوژیک (وزن خشک اندام هوایی) بابونه آلمانی در شرایط تنش کم آبی می باشد و کاربرد قارچ مایکوریزا اثر مثبتی بر عدم کاربرد و افزایش شاخص برداشت گیاه داشت. پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای در گیاهان همزیست با قارچ‌های مایکوریزا بالاتر بوده و این گیاهان دارای مواد فتوسنتزی بیشتری نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی می‌باشند. همچنین، هدایت هیدرولیکی ریشه افزایش و تماس با ذرات خاک از طریق اتصال هیف قارچ که قادر به استخراج آب از منافذ ریز مـی‌باشد، بهبود می‌یابد و به‌این ترتیب گیاهان رشد بیشتری می‌کنند (Ortas *et al.*, 2011).

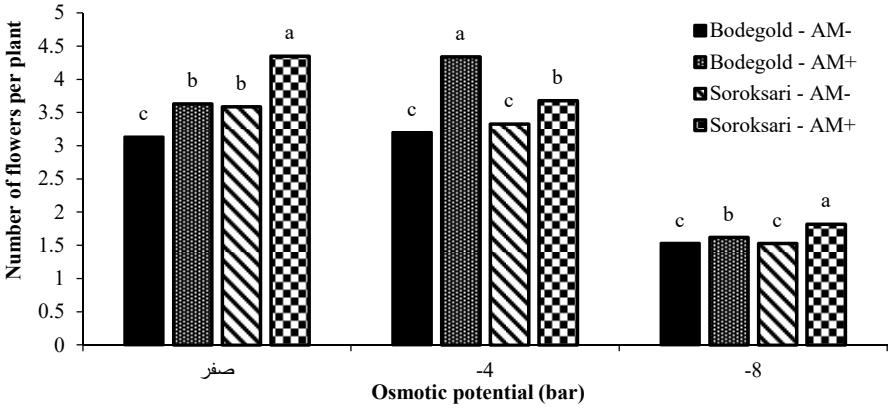
جدول ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل پتانسیل اسمزی، مایکوریزا و رقم بر وزن خشک اندام هوایی و گل و شاخص برداشت بابونه آلمانی.

Table 8. Mean comparison interaction effect of osmotic potential, cultivar and mycorrhiza on shoot dry weight, leaf and flower and harvest index of german chamomile.

Osmotic potential (bar)	Cultivar	Mycorrhiza	Shoot dry weight (g plant $^{-1}$)	Flower dry weight plant (g plant $^{-1}$)	Harvest index
0	Bodegold	without	0.67d	0.33c	8.37c
		with	0.72c	0.38b	10.74a
	Soroksari	without	0.83b	0.34c	8.36c
		with	0.88a	0.48a	8.70b
-4	Bodegold	without	0.47d	0.19b	7.41b
		with	0.56b	0.23a	8.09a
	Soroksari	without	0.54c	0.19b	7.27c
		with	0.76a	0.27a	7.03d
-8	Bodegold	without	0.33b	0.04c	3.41d
		with	0.37a	0.06b	3.60b
	Soroksari	without	0.14d	0.04c	7.53c
		With	0.19c	0.08a	8.52a

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل پتانسیل اسمزی، مایکوریزا و رقم بر تعداد گل در بوته بابونه آلمانی.

Figure 2. Mean comparison of interaction effect of osmotic potential, cultivar and mycorrhiza on number of flowers per plant of german chamomile

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که گیاه بابونه آلمانی با قرارگیری در شرایط تنش اسمزی، اسمولیت‌هایی مانند قندهای محلول برگ و پرولین برگ در آن به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. افزایش در میزان اسمولیت‌ها سبب می‌شود گیاه تحمل بیشتری به تنش کم‌آبی داشته باشد که در اینجا رقم سوروکساری از میزان اسمولیت‌های بیشتری برخوردار بود، همچنین با کاهش پتانسیل اسمزی صفاتی مانند محتوای کلروفیل کل برگ، محتوای نسبی آب برگ، ارتفاع بوته، تعداد گل در بوته، وزن خشک اندام هوایی و گل در هر دو رقم سوروکساری و بودگلد کاهش یافت که این کاهش در رقم سوروکساری نسبت به رقم بودگلد کمتر بود و این نشان‌دهنده مقاومت بیشتر رقم سوروکساری به تنش اسمزی می‌باشد. کاربرد قارچ مایکوریزا نسبت به حالت عدم کاربرد آن در شرایط تنش اسمزی در هر دو رقم سوروکساری و بودگلد سبب افزایش صفات رشدی مورد بررسی مانند ارتفاع بوته، تعداد گل، وزن خشک اندام هوایی و گل در بوته گردید. همچنین، استفاده از قارچ مایکوریزا در سطوح مختلف تنش اسمزی سبب افزایش محتوای کلروفیل برگ، محتوای نسبی آب برگ، قندهای محلول برگ و محتوای پرولین برگ نسبت عدم کاربرد قارچ مایکوریزا شد. به‌نظر می‌رسد همزیستی ریشه هر دو رقم بابونه آلمانی با قارچ مایکوریزا سبب افزایش توانایی گیاه در جذب آب و مواد غذایی مانند فسفر، نیتروژن و آهن شده و در تحمل تنش اسمزی به گیاه کمک کرده است.

REFERENCES

1. Ahmadian, A., Ghanbari, A. & Siahsar, B. (2011). Study of the yield and its components of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic and inorganic fertilizers using and their residue. *Agroecology*, 3(3), 383-395. (In Farsi).
2. Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24 (1), 1-15.
3. Arve, L.E., Torre, S., Olsen, J.E. & Tanino, K. (2011). Stomatal responses to drought stress and air humidity in abiotic stress in plants mechanisms and adaptations. *Journal of Plant Research*, 119, 267- 280.
4. Al-Arjani, A.B.F., Hashem, A. & Abd-allah. E.F. (2020). Arbuscular mycottizal fungi modulates dynamics tolerance expression to mitigate drought stress in *Ephedra foliate* Boiss. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(1), 380-394.
5. Ali, M., Bakht, J. & Khan, G.D. (2014). Effect of water deficiency and potassium application on plant growth, osmolytes and grain yield of brassica napus cultivars. *Acta Botanica Croatica*, 73 (2), 299-314.
6. Ashraf, M. & Foolad, M.R. (2007). Roles of glycine, betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 206-216.

7. Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Movahhedi Dehnavi, M. & Salehi, A. (2019). Growth and nutrient content of *Echinacea purpurea* as affected by the combination of phosphorus whit arbuscular mycorrhiza fungus and *Pseudomonas florescent* bacterium under different irrigation regimes. *Journal of Environmental Management*, 231, 182-188.
8. Auge, R.M., Toler, H.D. & Saxton, A.M. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza*, 25(1), 13-24.
9. Ayoughi, F., Barzegar, M., Sahari, M.A. & Naghdibadi, H. (2011). Chemical compositions of essential oils of *Artemisia dracunculus* L. and endemic *Matricaria chamomilla L.* and an evaluation of their antioxidative effects. *Journal Agriculture Science and Technology*, 13, 79 – 88.
10. Azimi, R., Jang Ju, J. & Asghari, H.R. (2013). Effects of mycorrhiza symbiosis on initial establishment and morphological traits of thyme (*Thymus vulgaris*) under natural conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(4), 666-676. (In Farsi).
11. Azizi, M. (2007). Study of four improved cultivars of *Matricaria chamomilla* L. in climatic condition of Iran. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 22(4), 386-396. (In Farsi).
12. Bhosle, K.S. & Shinde, B.P. (2011). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on prolineand chlorophyll content in *Zingiber officinale* rosc grown under water stress. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 1(3), 172-176.
13. Chaudhary, V., Kapoor, R. & Bahtnagar, A.K. (2007). Effect of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia anmua* L. *Mycorrhiza*, 17, 581-587.
14. Demir, S. (2004). Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Jornal Biology*, 28, 85-90.
15. Ebrahimi, F., Salehi, A., Movahedi Dehnavi, M., Mirshekari, A., Hamidian, M. & Hazrati, S. (2021). Biochemical response and nutrient uptake of two arbuscular mycorrhiza-inoculated chamomile varieties under diferent osmotic stresses. *Botanical Studies*, 62(22), 1-17
16. Esmaielpour, B., Jalilvand, P. & Hadian, J. (2013). Effects of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological traits and yield of savory (*Satureja hortensis* L.). *Agroecology*, 5(2), 169-177. (In Farsi).
17. Farhoudi, R. & Modhej, A. (2018). Effect of drought stress on seed yield, essential oil yield and ability of reactive oxygen species scavenging in *Nigell asativa* L. ecotypes. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 34(3), 510-526. (In Farsi).
18. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy For Sustainable Development*, 29, 185-212.
19. Gorgini Shabankareh, H., Khorasaninejad, S., Soltanloo, H. & Shariati, V. (2021). The effect of abscisic acid regulator on yield, antioxidant enzymes activity and proline content of lavender (*Lavendula angustifolia* cv. Organic Munestead) in response to deficit irrigation. *Iranian Journal of Horticultural Science,* 52(1), 195-211. (In Farsi).
20. Gosztola, B., Sarosi, S. & Nemeth, E. (2010). Variability of the essential oil content and composition of chamomile (*Matricaria recutita* L.) affected by weather conditions. *Natural Product Communication*, 5(3), 29-43.
21. Hosseinzadeh, S., Amiri, H. & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica Journal*, 54 (1), 87-92.
22. Irigoyen, J.J., Emerich, D.W. & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Journal of Plant Physiology*, 84(1), 55-60.
23. *Kabiri*, R., Nasibi, F. & Farahbakhsh, F. (2013). Study of some oxidative parameters induced by drought stress in *Nigella sativa* under hydroponic culture. *Journal of Plant Process and Function*, 2 (3), 11-19. (In Farsi).
24. Kazemi, S., Farahmand, E., Pirdashti, H. & Mahmoudi, M. (2017). The effect of coexisting of mycorrhiza-like and mycorrhiza fungi on water use efficiency of corn under different irrigation regimes and phosphorus in different climatic conditions of Mazandaran province. *Journal of Crops Improvement*, 19(2), 371-386. (In Farsi).
25. Khan, M.I.R., Fatma, M., Per, T.S., Anjum, N.A. & Khan, N.A. (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6, 462.
26. Khanna-Chopra, R. & Selote, D.S. (2007). Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than-susceptible wheat cultivar under field conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 60(2), 276-283.
27. Masoumi Zavarian, A., Yousefi Rad, M. & Asghari, M. (2018). Investigation of the effects of mycorrhizal fungus on quantitative and qualitative characteristics of *Pimpinella anisum* under salinity stress. *Journal of Medicinal Plants*, 14 (4): 148-139.

28. Mazaraei, A., Sirousmeh, A.R. & Babaei, Z. (2017). Effect of mycorrhizal fungi on some morphological & physiological charactristics of milk thistle (*Silybum marianum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants*, 33(4), 620-635. (In Farsi).
29. Michel, B.E. & Kaufmann, M.R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51, 914-916.
30. Michele, A., Doughlas. T. & Frank, A. (2009). Tha effects of clipping and soil moisture on leaf and root morphological root respiration in two temperate and two tropical grasses. *Plant Ecology*, 200, 205-215.
31. Michel BE, Kaufmann MR (1973) The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology* 51(5), 914-916.
32. Mishra, A. & Choudhuri, M.A. (1999). Effects of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. *Biology Plants*, 42, 409-415.
33. Mohammadi, M., Ghassemi Golezani, K., ZehtabSalmasi, S. & Nasrollahzade, S. (2016). Assessment of some physiological traits in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under water stress. *International Journal of Life Sciences*, 10(1): 58-64.
34. Mohammadkhani, N. & Heidari, R. (2007). Effects of water stress on respiration, photosynthetic pigments and water content in tow Maize cultivars. *Pakistan Journal of Biological Science*, 10(22), 4022-4028.
35. Movahhedi Dehnavi, M., Modares Sanavi, S.A.M., Soroushzadeh, A. & Jalali, M. (2004). Changes in proline, total soluble sugars, spad and chlorophyll fluorescence in winter safflower cultivars under drought stress and foliar application of zinc and manganese. *Desert*, 9(1), 93-109. (In Farsi).
36. Myung-Min, H., Trick, H.N. & Rajasheka, E.B. (2009). Secondary metabolism and antioxidant are involved in environmental adaptation and stress tolerance in lettuce. *Journal of Plant Physiology*, 166, 180-191.
37. Nazarli, H., Ahmadi, A. & Hadian, J. (2014). Salicylic acid and methyl jasmonate enhance drought tolerance in chamomile plants. *Journal of HerbMed Pharmacology*, 3(2), 87-92.
38. Paquin, R. & Le chasseur, P. (1979). Observation surune method dosage Labrie dans lesde plants. *Canadian Journal of Botany*, 57, 1851-1854.
39. Ortas, I., Sari, N., Akpinar, C., & Yetisir, H. (2011). Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, 128(2), 92-98
40. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. & Vivekanandan, M. (2004). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1189-1202.
41. Rehmat, S., Khera, R.A., Hanif, M.A., Ayub, M.A. & Zubair, M. (2020). *Chamomilla. In Medicinal Plants of South Asia*, (pp. 101-112). Elsevier.
42. Salahiostad, M., Abedi, B. & Selahvarzi, Y. (2022). The effect of *Trichoderma harzianum* on the biochemical properties and photosynthetic pigments of basil under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science,* 52(4), 999-1009. (In Farsi).
43. Selmer, D., Kleinwachter, M., Abouzeid, S., Yahyazadeh, M. & Nowak, M. (2017). *The impact of drough stress on the quality of spice and medicinal plants. In Medicinal plants and environmental challenges* (pp. 159-175). Springer, Cham.
44. Selvaraj, T. & Chellappan, P. (2006). Arbuscular mycorrhizae: A diveres personality. Review Paper. *Journal of Centeral European Agriculture*, 7(2), 349-358.
45. Soltanian, M. & Tadayyon, A. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on some agronomic characteristics on linseed (*Linum ussitatissimum* L.) under drought stress. *Journal of Plant Production Research*, 22(2), 1-21. (In Farsi).
46. Tasdighi, H.R., Salehi, A., Movahe Didenavi, M. & Behzadi, Y. (2015). Survey of Yield, Yield Components and Essential Oil of *Matricaria chamomilla* L. With Application of Vermicompost and Different Irrigation Levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25 (3), 78-61. (In Farsi).
47. Tsivelika, N., Sarrou, E., Gusheva, K., Pankou, C., Koutsos, T., Chatzopoulou, P. & Mavromatis, A. (2018). Phenotypic variation of wild chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) populations and their evaluation for medicinally important essential oil. *Biochemical Systematics and Ecology*, 80, 21-28.
48. Wang, W.G., Li, R., Liu, B., Li, L., Wang, S. H. & Chem, F. (2011). Effects of low nitrogen and drought stresses on prolin synthesis of *Jatropha curcas* seedling. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(5), 1591-1595.
49. Wu, Q.S., Xia, R.X., Zou, Y.N. & Wang, G.Y. (2007). Osmotic solute responses of mycorrhizal citrus (*Poncitrus trifoliate*) seedlings to drought stress. *Acta Physiologica Plantarum*, 29, 543-549.
50. Zhang, K., Yu, H.J., Shi, K., Zhou, Y.HJ., Yu, Q. & Xia, X.J. (2010). Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. *Plant Science*, 179(3), 202-208.