19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

پاسخ تبادلات گازی و عملکرد گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) به کاربرد کمپوست زیستی و تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای

زهره بوالحسنی[1*]، محمد فیضیان[2]، لیلا صادق کسمائی[3] و حسن اعتصامی[4]

۱- دکتری مدیریت حاصلخیزی و زیست‌فناوری خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران ، **z.bolhasani93@yahoo.com**

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

۳- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، گرگان، ایران

۴-دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی تاثیر کمپوست زیستی و تنش خشکی بر تبادلات گازی و عملکرد گیاه بادرنجبویه در سال ۱۴۰۱ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای کودی شامل شاهد، کمپوست کود مرغی، کمپوست غنی‌شده با قارچ تریکودرما و کمپوست غنی‌شده با باکتری تیوباسیلوس و گوگرد بودند که به میزان ۰/۵ درصد وزنی به خاک اضافه شدند. سطوح تنش خشکی نیز در سه سطح ۹۵-۱۰۰، ۷۵-۸۰ و ۵۵-۶۰ درصد ظرفیت مزرعه اعمال گردید. نتایج نشان داد بیشترین وزن خشک اندام هوایی گیاه در تیمار عدم تنش و کمپوست غنی شده با تیوباسیلوس + گوگرد حاصل شد. صفات سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق تحت تاثیر معنی‌دار اثرات اصلی تنش و تیمار کودی قرار گرفتند. بیشترین مقادیر این صفات در شرایط بدون تنش و با کاربرد کمپوست غنی‌شده مشاهده شد. غلظت CO_2 زیر روزنه تحت تاثیر معنی‌دار اثر متقابل قرار گرفت؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار (۳۶۱ میکرومول بر مول) در تیمار بدون کود + تنش شدید و کمترین (۲۷۷/۳ میکرومول بر مول) در شرایط عدم تنش و کاربرد کمپوست غنی‌شده ثبت شد. به‌طور کلی، کمپوست غنی‌شده، سبب تعدیل اثرات منفی تنش خشکی و بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه گردید.

واژگان کلیدی: تریکودرما، تعرق، تیوباسیلوس، سرعت فتوسنتز، کمپوست.

مقدمه

تنش خشکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در دهه‌های اخیر به‌شمار می‌آیند که به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، منجر به کاهش رشد، عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی می‌گردد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۷). یکی از نخستین واکنش‌های گیاهان به تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌هاست که به دنبال آن، تبادلات گازی از جمله جذب CO_2 ، تعرق و هدایت روزنه‌ای کاهش یافته و در نهایت، فتوسنتز گیاه مختل می‌شود (Mahmood *et al*., 2019). کاهش سرعت فتوسنتز و کارایی دستگاه فتوسنتزی از جمله پیامدهای مهم تنش خشکی است که در بلندمدت رشد و تولید ماده خشک گیاه را کاهش می‌دهد (Bhandari *et al*., 2023). به‌همین دلیل، حفظ فعالیت فتوسنتزی و تعادل تبادلات گازی در شرایط تنش، برای پایداری عملکرد گیاهان از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا، استفاده از منابع کودی پایدار به‌ویژه ترکیبات آلی و زیستی، به‌عنوان راهکاری مؤثر جهت کاهش اثرات منفی تنش خشکی مطرح شده است. کمپوست به‌دلیل دارا بودن ماده آلی و عناصر غذایی قابل‌دسترس، توانایی بالایی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارد (Goldan *et al*., 2023). افزودن ریزجانداران مفید نظیر قارچ*Trichoderma harzianum* ، باکتری‌های *Thiobacillus* spp. و گوگرد به کمپوست، می‌تواند موجب افزایش جذب آب، تحریک رشد ریشه، بهبود جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و در نهایت افزایش توان گیاه در برابر تنش‌های محیطی گردد (Sosa-Hernández *et al*., 201). کاربرد گوگرد به همراه تیوباسیلوس به‌وسیله بسیاری از محققین بررسی شده و بیشتر آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که باکتری‌های جنس تیوباسیلوس با اکسید کردن گوگرد و کاهش pH خاک، افزایش حلالیت عناصر غذایی و رشد گیاه را به دنبال دارد (Soaud *et al*., 2011). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ترکیب کودهای آلی با ریزجانداران، علاوه بر افزایش عملکرد، سبب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و کاهش غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای در شرایط کم‌آبی می‌شود (Abdelmoaty *et al*., 2022). گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) یکی از گیاهان دارویی مهم از تیره نعناعیان است که به‌دلیل داشتن ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی، اسانس‌ها و اثرات آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و آرام‌بخش، در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی کاربرد گسترده‌ای دارد (Kalvandi *et al*., 2014). با این حال، رشد و ترکیبات مؤثره این گیاه نیز مانند سایر گیاهان دارویی به‌شدت تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. بنابراین شناسایی راهکارهایی برای بهبود مقاومت بادرنجبویه در برابر تنش خشکی اهمیت فراوانی دارد. در پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی و کاربرد کمپوست غنی‌شده با ریزجانداران (تریکودرما، تیوباسیلوس و گوگرد) بر شاخص‌های رشد و تبادلات گازی گیاه بادرنجبویه شامل سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق و غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای در شرایط گلخانه‌ای انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر کمپوست کود مرغی غنی شده با قارچ تریکودرما هارزیانوم و باکتری تیوباسیلوس همراه گوگرد در شرایط تنش خشکی بر تبادلات گازی و عملکرد گیاه بادرنجبویه، آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل ۴×۳ در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی لرستان در سال ۱۴۰۱ به اجرا در آمد. تیمارها شامل سه سطح خشکی (۱۰۰-۹۵، ۸۰-۷۵ و ۵۵-۶۰ درصد ظرفیت مزرعه) و چهار سطح کودی (عدم کاربرد کود، کمپوست کود مرغی، کمپوست + قارچ تریکودرما و کمپوست + باکتری تیوباسیلوس+گوگرد، هر سطح کودی به میزان ۰/۵ درصد وزنی معادل تقریبا معادل ۲۰ تن در هکتار بودند که به خاک گلدان‌های چهار کیلوگرمی اعمال گردید. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه و کمپوست در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک و کمپوست مورد مطالعه

تیمار	بافت خاک	پهاش	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
خاک	لوم رسی	۷/۶	۰/۶۲	۰/۸	۰/۰۸	۱۷/۵	۲۵۰
کمپوست کود مرغی	-	۷/۲	۵/۸۲	۳۳/۸	۳/۱	۲/۳	۲/۸

pH و EC :(۱:۵ کود به آب)

در هر گلدان یک نشا بادرنجبویه کاشته شد و رطوبت خاک در طول آزمایش در حدود رطوبت ظرفیت مزرعه نگهداری شد. در طول فصل رشد (پس از استقرار کامل گیاه و در زمان شروع تنش)، آبیاری به صورت روزانه با رساندن رطوبت به مقادیر ذکر شده در تیمارهای رطوبتی خاک، انجام شد. در پایان دوره رشد، فاکتورهای تبادلات گازی با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی قابل حمل مدل CI-340 ساخت CID آمریکا، در برگ‌های بالایی اندازه‌گیری شد. همچنین وزن خشک اندام هوایی گیاه اندازه‌گیری گردید. پس از به‌دست آوردن نتایج آزمایشگاهی و گلخانه‌ای، تجزیه و تحلیل آماری داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲، انجام شد و میانگین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون دانکن و در سطح آماری پنج درصد با یکدیگر مقایسه شد.

نتایج و بحث

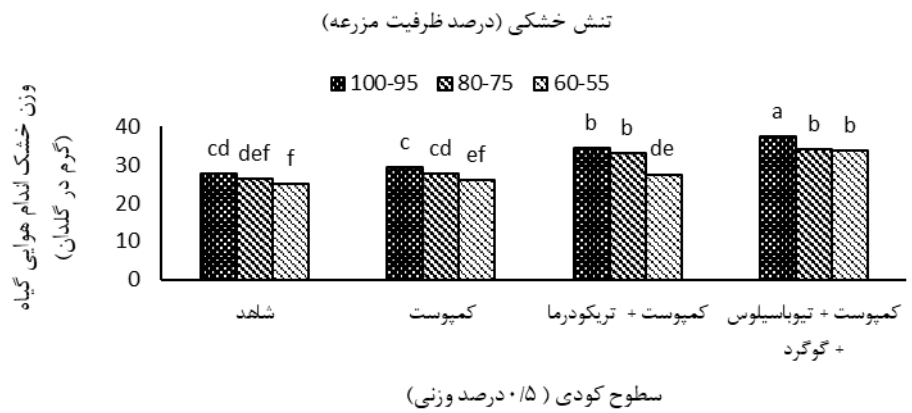
با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر اصلی سطوح کودی و تنش خشکی بر صفات وزن خشک اندام هوایی گیاه، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق و غلظت کربن دی‌اکسید زیر روزنه‌ای در سطح یک درصد معنی دار گردید. در حالیکه اثر متقابل سطوح کودی و تنش خشکی بر وزن خشک اندام هوایی گیاه و غلظت کربن دی‌اکسید زیر روزنه‌ای به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار شد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر صفات مورد بررسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن خشک اندام هوایی	سرعت فتوسنتز	هدایت روزنه‌ای	تعرق	غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای
کود	۳	۱۴۲/۱۳**	۷۲/۹۹**	۰/۰۰۲۱۵۴**	۰/۰۱۸۳۰**	۶۶۵۸/۷۴**
تنش خشکی	۲	۵۲/۰۵۶**	۸/۵۶۶**	۰/۰۰۱۴۱۷**	۰/۱۲۷۲۱۹**	۳۱۱۵/۵۸**
کود*تنش خشکی	۶	۴/۷۹۳**	۰/۱۷۱۰^{ns}	۰/۰۰۰۰۱۶^{ns}	۰/۰۰۰۵۱۹^{ns}	۱۸۷/۶۶*
خطا	۲۴	۱/۰۸۵	۰/۲۶۸۳	۰/۰۰۰۰۵۹	۰/۰۰۳۶۸۱	۷۲/۳۶

* و ** به ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار می‌باشد. ns از لحاظ آماری معنی دار نمی‌باشد.

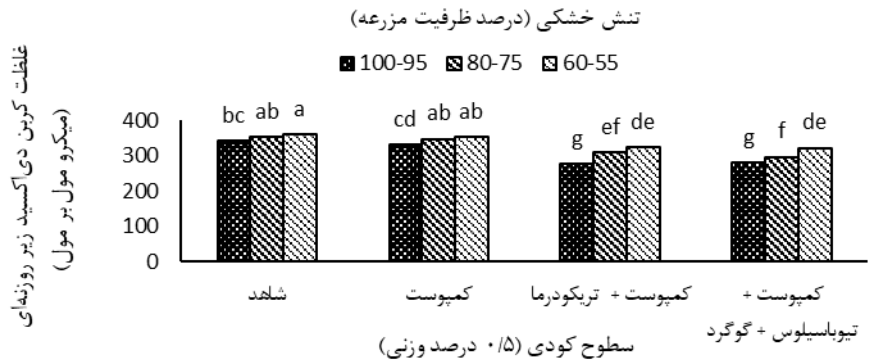
بیشترین وزن خشک اندام هوایی گیاه در تیمار کمپوست غنی شده با باکتری تیوباسیلوس + گوگرد و در شرایط عدم تنش خشکی (۹۵-۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) به مقدار ۳۷/۳۳ گرم در گلدان بدست آمد. در مقابل کمترین میزان وزن خشک اندام هوایی گیاه در تیمار عدم کاربرد کود و در سطح تنش شدید (۵۵-۶۰ درصد ظرفیت مزرعه) به مقدار ۲۴/۹ گرم در گلدان مشاهده شد. که از نظر آماری با تیمار عدم کاربرد کود و در شرایط تنش ۷۵-۸۰ درصد ظرفیت مزرعه و همچنین با تیمار کمپوست و سطح تنش ۶۰-۵۵ درصد ظرفیت مزرعه، تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار کودی و تنش خشکی بر وزن خشک اندام هوایی گیاه بادرنجبویه (گرم در گلدان)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

با توجه به شکل ۲، بیشترین غلظت کربن دی‌اکسید زیر روزنه‌ای در سطح تنش ۵۵-۶۰ درصد ظرفیت مزرعه و عدم کاربرد کود به‌میزان ۳۶۱ میکرومول بر مول مشاهده شد. هر چند با برخی تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت. در حالیکه کمترین میزان این صفت در سطح عدم تنش و کاربرد کمپوست غنی شده با قارچ تریکودرما به میزان ۲۷۷/۳ میکرومول بر مول وجود داشت که از نظر آماری با سطح عدم تنش و تیمار کمپوست غنی شده با باکتری و گوگرد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار کودی و تنش خشکی بر غلظت کربن دی‌اکسید زیر روزنه‌ای (میکرومول بر مول)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

غنی‌سازی کمپوست کود مرغی با ریزجانداران، سبب افزایش سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق برگ شد. کاربرد کمپوست + تیوباسیلوس+گوگرد، میزان سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق برگ را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به میزان ۵۲/۳۰، ۱۰/۷۵ و ۳/۹۵ درصد افزایش داد. در حالیکه در صفات ذکر شده، بین دو تیمار کمپوست غنی شده با تریکودرما و تیوباسیلوس + گوگرد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح کودی بر سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق برگ

سطوح کودی (۰/۵ درصد وزنی)	سرعت فتوسنتز (میکرو مول بر متر مربع بر ثانیه)	هدایت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه)	تعرق (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه)
شاهد	۱۱/۷۲c	۰/۲۷۹b	۲/۵۳b
کمپوست	۱۵/۱۴b	۰/۲۸۳b	۲/۵۸ab
کمپوست + تریکودرما	۱۷/۶۰a	۰/۳۰۵a	۲/۶۱a
کمپوست +تیوباسیلوس+گوگرد	۱۷/۸۵a	۰/۳۰۹a	۲/۶۳a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

با توجه به نتایج جدول ۴، با اعمال تنش خشکی، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق برگ کاهش یافت. تنش ۵۵-۶۰ درصد ظرفیت مزرعه، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق برگ را در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب به میزان ۱۰/۲۲، ۶/۹۰ و ۷/۸۰ درصد کاهش معنی‌دار داد (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی بر سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق برگ

تنش خشکی (درصد ظرفیت مزرعه)	سرعت فتوسنتز (میکرو مول بر متر مربع بر ثانیه)	هدایت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه)	تعرق (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه)
۱۰۰-۹۵	۱۶/۳۳a	۰/۳۰۴a	۲/۶۹a
۸۰-۷۵	۱۵/۷۴b	۰/۲۹۵b	۲/۵۸b
۶۰-۵۵	۱۴/۶۶c	۰/۲۸۳c	۲/۴۸c

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

تنش خشکی با کاهش سطح فتوسنتز کننده، بستن روزنه‌ها به‌دلیل تولید اسید آبسیزیک در ریشه، کاهش فتوسنتز بواسطه آن، کاهش سنتز و انتقال مواد فتوسنتزی، در نهایت سبب کاهش رشد رویشی گیاه می‌گردد (Kour and Yadav, 2022). در شرایط تنش خشکی، فشار تورژسانس سلول‌های ساقه کاهش می‌یابد و از طرفی تولید مواد اصلی فتوسنتز نیز کم می‌شود، لذا طول میانگره‌های ساقه و درنتیجه ارتفاع بوته تحت تأثیر تنش رطوبتی دچار کاهش خواهد شد (Farhadi *et al*., 2017). کاهش میزان عملکرد گیاه در شرایط کم‌آبی در تحقیقاتی روی گیاه سیاهدانه (سلطانیه و همکاران، ۱۴۰۲)، سویا (Gullap *et al*., 2024) و ریحان گلخانه‌ای (Consentino *et al*., 2023) گزارش شده است.

تنش خشکی با بسته شدن روزنه‌ها، باعث کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش تعرق و افت شدید فتوسنتز در گیاه شد. این تاثیرات ناشی از عوامل روزنه‌ای (محدودیت ورود CO_2) و عوامل غیرروزنه‌ای (اختلال در چرخه بیوشیمیایی تثبیت کربن) بود (Khanam and Mohammad, 2018). افزایش سطح اسید آبسزیک تحت تنش، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش مصرف آب را در پی داشت (Arif *et al*., 2020). یافته‌های حاضر با پژوهش‌های مشابه روی گیاه بادرنجبویه (Chrysargyris *et al*., 2022) و سایر گیاهان دارویی (Fateh *et al*., 2012؛ گلچین و همکاران، ۱۴۰۱) مطابقت داشت.

استفاده از کمپوست غنی‌شده با ریزجاندارانی مانند قارچ تریکودرما، تیوباسیلوس و گوگرد، تأثیرات منفی تنش خشکی را به‌طور چشمگیری کاهش داد. قارچ تریکودرما به‌دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام گیاهی و همچنین افزایش فتوسنتز گیاه منجربه ساخته شدن مواد فتوسنتزی بیشتر گیاهان شده و در نهایت اثرات سوء تنش خشکی بر عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد (Van Duijnen *et al*., 2021). بر اساس مطالعات انجام شده، قارچ تریکودرما در شرایط تنش خشکی توانست ویژگی‌های رشدی گیاه ریحان را تعدیل بخشد(Amani *et al*., 2023). همچنین دلیل اثر بخشی گوگرد با باکتری تیوباسیلوس را می‌توان به نقش مستقیمی که در تغذیه گیاه دارد اشاره کرد. این عنصر همراه با باکتری تیوباسیلوس سبب کاهش موضعی pH خاک در اطراف ریشه‌های گیاه شده و به حلالیت عناصر تثبیت شده در خاک‌های آهکی و به افزایش جذب عناصر توسط گیاه کمک می‌کند و در نهایت باعث بهبود عملکرد گیاه می‌گردد (Rahimzadeh *et al*., 2016). کاربرد کمپوست غنی‌شده با ریزجاندارانی نظیر قارچ تریکودرما هارزیانوم، باکتری تیوباسیلوس و گوگرد، تاثیر معنی‌داری بر

بهبود شاخص‌های تبادلات گازی شامل سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق و غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای داشت. این ترکیبات از طریق گسترش سیستم ریشه، بهبود جذب آب و افزایش دسترسی به عناصر غذایی مانند نیتروژن و ریزمغذی‌ها، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق شده و از بسته‌شدن روزنه‌ها در شرایط تنش جلوگیری کردند (Abdelmoaty *et al.*, 2022; Arif *et al.*, 2016). همچنین، با بهبود ساختار فتوسنتزی و افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو، سرعت فتوسنتز به‌طور معنی‌داری افزایش یافته و غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای کاهش یافت که بیانگر عملکرد بهتر دستگاه فتوسنتزی در این تیمارهاست (He *et al.*, 2020). نتایج این پژوهش با یافته‌های مشابه در سایر گیاهان دارویی نیز همخوانی دارد (Chrysargyris *et al.*, 2022).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی با تاثیر منفی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی مانند سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق و افزایش غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای، رشد و عملکرد گیاه را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد. در مقابل، کاربرد کمپوست غنی‌شده با ریزجانداران مؤثر نظیر قارچ تریکودرما، باکتری تیوباسیلوس و گوگرد توانست از طریق بهبود جذب آب، افزایش دسترسی به عناصر غذایی و تقویت ساختار فتوسنتزی، این اثرات منفی را کاهش داده و سبب افزایش وزن خشک گیاه و بهبود کارایی تبادلات گازی گردد. بنابراین استفاده از این نوع ترکیبات آلی-زیستی می‌تواند به‌عنوان راهکاری پایدار در مدیریت تنش خشکی و افزایش بهره‌وری گیاهان دارویی پیشنهاد شود.

فهرست منابع

۱. سلطانیه، م.، طالعی، د.، نجات‌خواه، پ. (۱۴۰۲). بررسی تاثیر نیتروژن و متانول بر شاخص‌های رشد، عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa.*) تحت تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۶ (۳): ۵۸۷-۶۰۱.

۲. گلچین، ل.، توکلی، ا.، محسنی فرد، ا، (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد سیتوکنین بر فتوسنتز، تبادلات گازی و عملکرد دانه گلرنگ (Carthamus tinctorius) در شرایط تنش خشکی، علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۳(۱): ۱۴۹-۱۶۰.

3. Abdelmoaty, S., Khandaker, M. M., Mahmud, K., Majrashi, A., Alenazi, M. M., & Badaluddin, N. A. (2022). Influence of Trichoderma harzianum and Bacillus thuringiensis with reducing rates of NPK on growth, physiology, and fruit quality of Citrus aurantifolia. *Brazilian Journal of Biology*, *82*, e261032.
4. Amani, M., Alizadeh-Salteh, S., Nojadeh, M. S., & Hamzekhanlu, M. Y. (2023). The effect of Trichoderma harzianum on the antioxidative traits of Ocimum basilicum L. under different irrigation regimes.
5. Arif, M., Ali, K., Jan, M. T., Shah, Z., Jones, D. L., & Quilliam, R. S. (2016). Integration of biochar with animal manure and nitrogen for improving maize yields and soil properties in calcareous semi-arid agroecosystems. *Field Crops Research*, *195*, 28-35.
6. Bhandari, U., Gajurel, A., Khadka, B., Thapa, I., Chand, I., Bhatta, D., ... & Shrestha, J. (2023). Morpho-physiological and biochemical response of rice (Oryza sativa L.) to drought stress: A review. *Heliyon*, *9*(3).
7. Chrysargyris, A., Petropoulos, S. A., & Tzortzakis, N. (2022). Essential oil composition and bioactive properties of lemon balm aerial parts as affected by cropping system and irrigation regime. *Agronomy*, *12*(3), 649.
8. Consentino, B. B., Vultaggio, L., Sabatino, L., Ntatsi, G., Rouphael, Y., Bondì, C., ... & Mauro, R. P. (2023). Combined effects of biostimulants, N level and drought stress on yield, quality and physiology of greenhouse-grown basil. *Plant Stress*, *10*, 100268.
9. Farhadi, H., Azizi, M., & Nemati, S. H. (2017). The effect of water deficit stress on morphological characteristics and yield components of landraces (Trigonella foenum-graecum L.) fenugreek eight. *Crop Science Research in Arid Regions*, *1*(1), 120-132.
10. Fateh, H., Siosemardeh, A., Karimpoor, M., & Sharafi, S. (2012). International Journal of Farming and Allied Sciences.
11. Goldan, E; Nedeff, V; Barsan, N; Culea, M; Panainte-Lehadus, M; Mosnegutu, E; Irimia, O; " Assessment of manure compost used as soil amendment—A review", *Processes*, 11,4, 1167, 2023

12. Gullap, M. K., Severoglu, S., Karabacak, T., Yazici, A., Ekinci, M., Turan, M., & Yildirim, E. (2024). Biochar derived from hazelnut shells mitigates the impact of drought stress on soybean seedlings. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *52*(1), 19-37.
13. He, Y., Yao, Y., Ji, Y., Deng, J., Zhou, G., Liu, R., ... & Bai, S. H. (2020). Biochar amendment boosts photosynthesis and biomass in C3 but not C4 plants: A global synthesis. *Gcb Bioenergy*, *12*(8), 605-617.
14. Kalvandi, R., Alimohammadi, S., Pashmakian, Z., & Rajabi, M. (2014). The effects of medicinal plants of melissa officinalis and salvia officinalis on primary dysmenorrhea. *Avicenna Journal of Clinical Medicine*, *21*(2), 105-111.
15. Khanam, D., & Mohammad, F. (2018). Plant growth regulators ameliorate the ill effect of salt stress through improved growth, photosynthesis, antioxidant system, yield and quality attributes in Mentha piperita L. *Acta Physiologiae Plantarum*, *40*(11), 188.
16. Kour, D., & Yadav, A. N. (2022). Bacterial mitigation of drought stress in plants: Current perspectives and future challenges. *Current Microbiology*, *79*(9), 248.
17. Mahmood, T., Khalid, S., Abdullah, M., Ahmed, Z., Shah, M. K. N., Ghafoor, A., & Du, X. (2019). Insights into drought stress signaling in plants and the molecular genetic basis of cotton drought tolerance. *Cells*, *9*(1), 105.
18. Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, G., Pirzad, A., & Golezani, K. G. (2016). Effect of bio-fertilizers on the essential oil yield and components isolated from Dracocephalum moldavica L. using nanoscale injection method. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *19*(3), 529-541.
19. Soaud, A. A., Saleh, M. E., El-Tarabily, K. A., Sofian-Azirun, M., & Rahman, M. M. (2011). Effect of elemental sulfur application on ammonia volatilization from surface applied urea fertilizer to calcareous sandy soils. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(5), 611-619.
20. Sosa-Hernández, M. A., Leifheit, E. F., Ingraffia, R., & Rillig, M. C. (2019). Subsoil arbuscular mycorrhizal fungi for sustainability and climate-smart agriculture: a solution right under our feet?. *Frontiers in Microbiology*, *10*, 744.
21. van Duijnen, R., Uther, H., Härdtle, W., Temperton, V. M., & Kumar, A. (2021). Timing matters: Distinct effects of nitrogen and phosphorus fertilizer application timing on root system architecture responses. *Plant-Environment Interactions*, *2*(4), 194-205.

Response of gas exchange and performance of *Melissa officinalis* L. (lemon balm) to the application of bio-compost and drought stress under greenhouse conditions

Zohreh Bolhassani* [1], Mohammad Feizian [2], Leila Sadegh Kasmaei [3], Hassan Etesami [4]
1.Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran Iran. E-mail: z.bolhasani93@yahoo.com
2. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran.
3. Research and Training Center for Agriculture and Natural Resources, Golestan Province, Gorgan, Iran.
4. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture; University of Tehran, Karaj, Iran.

Abstract

This study aimed to investigate the effects of bio-compost and drought stress on gas exchange parameters and performance of lemon balm plants. Conducted in 2022 within the greenhouse at the Faculty of Agriculture, Lorestan University, the experiment followed a factorial design in a completely randomized layout with three replications. The fertilizer treatments included a control, chicken manure compost, compost enriched with Trichoderma fungi, and compost enriched with Thiobacillus bacteria and sulfur, all applied at a rate of 0.5% by soil weight. Drought stress levels were applied at three levels: 100-95%, 80-75%, and 60-55% of field capacity. Results indicated that the highest dry weight of the plant's aerial parts was achieved under non-stressed conditions with compost enriched with Thiobacillus and sulfur. Photosynthesis rate, stomatal conductance, and transpiration were significantly affected by the main effects of stress and fertilizer treatments. The highest values for these traits were observed under non-stressed conditions combined with the application of enriched compost. Sub-stomatal CO_2 concentration was significantly influenced by the interaction effect, with the highest concentration (361 μmol mol^{-1}) recorded under severe drought stress without fertilizer additions and the lowest concentration (277.3 μmol mol^{-1}) observed under non-stressed conditions with enriched compost. Overall, the use of enriched compost mitigated the adverse effects of drought stress and improved physiological traits of the plant.

Keywords: Trichoderma, Transpiration, Thiobacillus, Photosynthesis rate, Compost.