

تأثیر کود کمپوست بر برخی پارامترهای فتوسنتزی در سه مرحله رشد گیاه عدس

(Lens culinaris Medik.) تحت تنش خشکی

راهله احمدپور^۱، نظام آرمنند^{۱*}، سعید رضا حسین زاده^۱ و گرشاسب ریگی^۲

^۱ ایران، بهبهان، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء، دانشکده علوم پایه، گروه زیست‌شناسی

^۲ ایران، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده علوم پایه، گروه ژنتیک

تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۶

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۷

چکیده

کمپوست به عنوان محصول فرآوری زباله‌های شهری با خصوصیات فیزیکوشیمیایی مناسب، می‌تواند نقش موثری در رشد و نمو و همچنین کاهش اثرات منفی ناشی از تنش‌های مختلف محیطی بر گیاهان داشته باشد. در این راستا آزمایشی با هدف اثر کمپوست بر شاخص‌های فتوسنتزی در مراحل فنولوژیک گیاه عدس تحت تنش خشکی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سطح اطمینان معنی داری ۹۵ درصد به اجرا درآمد. عوامل مورد بررسی شامل تیمارهای مختلف کمپوست و خاک با ۵ سطح (۱۰۰:۰، ۹۵:۵، ۸۵:۱۵، ۷۵:۲۵ و ۶۵:۳۵ درصد وزنی) و تنش خشکی با ۳ سطح شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید) در نظر گرفته شد. نتایج در مرحله گیاهچه ای نشان داد که در شرایط تنش ملایم، افزودن کمپوست به خاک در سطح ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی منجر به افزایش معنی دار محتوای کلروفیل کل (۱۲٪ و ۱۵٪ به ترتیب)، CO_2 درون سلول (۸٪ و ۸٪)، فتوسنتز (۱۶٪ و ۱۷٪)، تعرق (۱۴٪ و ۱۵٪) و عملکرد فتوسیستم II (۴٪ و ۴٪) در مقایسه با شاهد شد، اما در شرایط تنش شدید سطح ۳۵ درصد وزنی در مقایسه با دیگر سطوح افزایش معنی داری داشت. در مرحله گلدهی سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد کمپوست در شرایط تنش ملایم و شدید در مقایسه با سطح شاهد منجر به افزایش معنی دار تمامی شاخص‌های مورد بررسی گردید. با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان کاربرد کمپوست را در جهت کاهش اثرات منفی تنش خشکی در گیاه عدس به ویژه در مراحل ابتدایی رشد پیشنهاد داد.

واژه‌های کلیدی: کودهای ارگانیک، تعرق، فلورسانس کلروفیل، تنش کم آبی، محتوای کلروفیل

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۹۱۵۳۵۸۶، پست الکترونیکی: armandnezam@yahoo.com

مقدمه

بارز گیاه عدس توانایی رشد در شرایط محیطی نامناسب (خاک‌های فقیر) است (۳۳). ریشه‌های این گیاه قادر است با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در خاک همزیست شده و در حاصلخیزی خاک نقش مهمی ایفا کنند (۶، ۳۳). تنش خشکی از متداول‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را از طریق اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک و بیولوژیک با محدودیت رو به رو کرده و بازده عملکردی گیاه را کاهش داده است (۲، ۳۲).

حبوبات از مهم‌ترین منابع پروتئینی (۱۸ تا ۳۲ درصد) در رژیم غذایی بشر می‌باشند (۳۳). طبق مطالعات انجام شده، استفاده منظم از حبوبات در برنامه غذایی می‌تواند نقش مهمی در رفع سوء تغذیه و کمبود اسیدهای آمینه ایفا کند (۴۱). در کشورهای در حال توسعه تقریباً یک چهارم نیاز پروتئینی توسط حبوبات تامین می‌شود و عدس با دارا بودن حدود ۲۸ درصد پروتئین می‌تواند ماده غذایی مناسبی در تغذیه اقشار کم درآمد جامعه باشد (۵، ۱۴). از ویژگی‌های

ها ضروری است و از طرفی منابع محدود کود حیوانی پاسخگوی نیاز روز افزون بخش کشاورزی به کود آلی نیست (۳۹). کاربرد ضایعات آلی نظیر زیباله‌های شهری و صنعتی، لجن فاضلاب، مواد زائد گیاهی و جانوری در خاک یک روش مناسب جهت افزایش و حفظ ماده آلی خاک، بهسازی خاک فرسوده و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان است (۳۰). کمپوست‌ها مواد آلی غنی شده‌ای هستند که طی یک فرآیند هوازی از بازیافت مواد ارگانیک به دست می‌آیند (۲۵). پژوهش‌های متعدد نشان داده است که اصلاح خاک با مواد آلی، به دلیل دارا بودن خصوصیات مطلوبی نظیر قابلیت نگهداری بالای آب، ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش عناصر غذایی (نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم) و سایر مشخصه‌های سودمند فیزیکی، شیمیایی و زیستی منجر به افزایش پایداری تولیدات کشاورزی می‌گردد (۷، ۲۲). در یک آزمایش کاربرد کودهای آلی نظیر کمپوست و ورمی‌کمپوست در بستر کشت گیاه منجر به افزایش تولید CO_2 محیط شد که علت آن افزایش فعالیت میکروبی موجود در خاک گزارش شد (۲۸).

مطالعات متعددی در ارتباط با استفاده از کود کمپوست در خاک و تأثیر آن بر خصوصیات فتوسنتزی گیاهان تحت شرایط تنش خشکی در ایران وجود ندارد. با توجه به ارزش غذایی و اقتصادی گیاه عدس که نقش اصلی در تأمین پروتئین گیاهی رژیم غذایی مردم دارد و نظر به اینکه یکی از مشکلات عمده کشاورزی در ایران کمبود آب بوده و مهم‌ترین اثر تنش خشکی کاهش معنی‌دار عملکرد و تولید محصول در اثر کاهش فتوسنتز در گیاهان است. تحقیق حاضر تلاش دارد با بررسی پارامترهای فتوسنتزی (فتوسنتز خالص، CO_2 درون سلول‌های مزوفیل، تعرق، محتوای کلروفیل کل و کارایی عملکرد PSII) در ۳ مرحله فنولوژیک (گیاهچه‌ای، گلدهی و غلاف‌دهی) گیاه عدس نشان دهد که آیا استفاده از کود کمپوست در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی موثر است؟

با توجه به اینکه بیش از ۸۰ درصد کشت عدس در کشور به صورت دیم می‌باشد، خشکی و کمبود آب در خاک بیشترین تأثیر را در کاهش فتوسنتز و عملکرد گیاه در مراحل مختلف فنولوژیک (گیاهچه‌ای، گلدهی و غلاف‌دهی) گیاه دارد (۳۵). از مهم‌ترین اثرات ابتدایی تنش خشکی بر گیاهان می‌توان به کاهش ورود CO_2 ، بازدارندگی در انتقال الکترون، کاهش عملکرد فتوسیستم II و در نهایت کاهش تثبیت CO_2 و فتوسنتز خالص اشاره کرد (۵، ۲۱). بستن روزنه‌ها به منظور کاهش هدر رفت آب از طریق تعرق اولین مکانیسم مقابله گیاهان در مواجهه با تنش خشکی است (۳۶). با بسته شدن روزنه‌ها ورود CO_2 به سلول‌های مزوفیل برگی به منظور تأمین گهرمایه مورد نیاز آنزیم روبیسکو (ریبولوز ۱۵ بیس فسفات کربوکسیلاز-اکسیژناز) محدود شده و در نهایت منجر به کاهش فتوسنتز خالص در گیاه می‌گردد (۱۲). از طرفی به دنبال کاهش غلظت CO_2 درون سلول نسبت O_2/CO_2 افزایش می‌یابد و آنزیم روبیسکو در مسیر تنفس نوری قرار می‌گیرد که این مسیر می‌تواند تا ۲۰٪ سبب اتلاف کربن در گیاهان شده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد شود (۸). پیامد دیگر تنش خشکی آسیب پروتئین ساختمانی موجود در فتوسیستم II (PSII) به نام D_1 است که منجر به کاهش فعالیت PSII و کاهش انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی است (۲۰). بازده کوانتومی PSII از مهم‌ترین پارامترهای فلورسانس کلروفیل است که در گیاهان از طریق تعیین نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس بیشینه (F_v/F_m) اندازه‌گیری می‌شود (۲۰). مطالعات متعدد در این زمینه نشان داده است که تنش خشکی منجر به بازدارندگی انتقال الکترون و کاهش کارایی PSII می‌شود (۱۸، ۲۷).

خاک‌های مناطق دیم کشور که بیش از ۸۰ درصد کشت حبوبات (به ویژه عدس، نخود و لوبیا) را شامل می‌شود، از نظر مواد آلی فقیر هستند (۱، ۳۵). به منظور بهبود حاصلخیزی خاک‌های این مناطق، افزودن مواد آلی به آن

مواد و روشها

عبارت بودند از ۵ نسبت وزنی کود کمپوست با خاک (شنی-لومی) شامل ۱۰۰۰:۰؛ ۹۵:۵؛ ۸۵:۱۵؛ ۷۵:۲۵ و ۶۵:۳۵ (معادل ۲۵۰۰:۰ گرم، ۲۳۷۵:۱۲۵ گرم، ۲۱۲۵:۳۷۵ گرم، ۱۸۷۵:۶۲۵ گرم و ۱۶۲۵:۸۷۵ گرم) که خصوصیات کود کمپوست و خاک مورد استفاده در این آزمایش در جدول ۱ ذکر شده است.

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان به صورت کشت گلدانی و در سطح معنی داری با اطمینان ۹۵ درصد، انجام شد. هر گلدان ۲/۵ کیلوگرمی به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. تیمارهای مورد بررسی در آزمایش

جدول ۱ - خصوصیات خاک و کمپوست مورد استفاده در آزمایش

خصوصیات	نیترژن کل (%)	مینیم (%)	پتاسیم (%)	فسفر (%)	آهن (%)	کلسیم (%)	کربن/ هیدروژن	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته (pH)
کمپوست	۳	۱/۳	۱/۵	۱/۳	۰/۶	۵/۵	۲۱/۱	۲/۵	۷/۰۸
خاک	۱/۵	۰/۰۵	۰/۴	۰/۰۱	۰/۰۰۲	۱	۱۷/۴	۱/۴	۷/۴۰

عامل تنش خشکی شامل شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، تنش خشکی ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش خشکی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) در نظر گرفته شد. گلدان‌ها در اتاقک رشد با درجه حرارت روز و شب به ترتیب ۲۵+ و ۲۰+ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در هر گلدان ۵ عدد بذر کشت شد و پس از سبز شدن به ۴ عدد گیاهچه در هر گلدان کاهش یافت. تیمار تنش خشکی بر اساس درصد رطوبت وزنی در هر یک از تیمارهای مورد نظر (نسبت‌های مختلف کمپوست و خاک) به صورت جداگانه اعمال شد و از طریق توزین گلدان‌ها و تأمین کسری رطوبت مورد نیاز، میزان رطوبت گلدان‌ها در طول دوره رشد به طور ثابت حفظ شد (۸، ۳۶). به منظور سنجش فتوسنتز خالص، CO_2 درون سلولی و تعرق از دستگاه سنجش تبادلات گازی برگ (فتوسنتز متر) استفاده شد (KR8700 system, Korea Tech Inc Suwon., Korea). این دستگاه از یک بخش مرکزی که مسئول پردازش داده‌ها و از یک اتاقک برگ که محل قرارگیری برگ جوان و سالم گیاه است، تشکیل شده است. به منظور رعایت شرایط استاندارد در تمامی تیمارها از برگ‌های دوم و سوم استفاده شد. میزان کلروفیل برگی در هر تیمار با استفاده از دستگاه کلروفیل-متر (Opti-CCM-200 plus, Sciences Inc, NH., USA) انجام شد. تعیین میزان کلروفیل برگ بر اساس میانگین ۱۰ تکرار در هر تیمار بود. تعیین عملکرد فتوشمیایی $PSII$ (F_v/F_m) به وسیله دستگاه کلروفیل فلوریمتر (Pocket PEA, Hansatech, Instruments Ltd., King's Lynn, Norfolk, England) انجام شد. این دستگاه نسبت F_v/F_m را به صورت اتوماتیک از طریق معادله ذکر شده ($F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m$) محاسبه می‌کند که در آن F_m فلورسانس بیشینه، F_0 فلورسانس حداقل و F_v فلورسانس متغیر است (۲۰). بدین صورت که ابتدا با استفاده از گیره‌های مخصوص دستگاه، سطح برگ مورد نظر به مدت ۲۰ دقیقه در شرایط تاریکی قرار گرفت. سپس با اتصال رابط دستگاه به برگ، نسبت F_v/F_m در هر تیمار ۶ بار خوانده شد و میانگین کل به عنوان عدد مورد نظر یادداشت گردید. اندازه‌گیری صفات مورد نظر ۳ بار در طی فصل رشد گیاه در مراحل رویشی (گیاهچه ای)، گلدهی و غلاف دهی انجام گرفت.

آنالیزهای آماری بوسیله نرم افزار MSTAT-C (Version 4) انجام شد. به منظور تعیین سطح معنی‌داری پارامترهای فتوسنتزی در اثر کود کمپوست و تنش خشکی از تجزیه واریانس (ANOVA) استفاده شد و میانگین‌ها با استفاده از

عامل تنش خشکی شامل شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، تنش خشکی ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش خشکی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) در نظر گرفته شد. گلدان‌ها در اتاقک رشد با درجه حرارت روز و شب به ترتیب ۲۵+ و ۲۰+ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در هر گلدان ۵ عدد بذر کشت شد و پس از سبز شدن به ۴ عدد گیاهچه در هر گلدان کاهش یافت. تیمار تنش خشکی بر اساس درصد رطوبت وزنی در هر یک از تیمارهای مورد نظر (نسبت‌های مختلف کمپوست و خاک) به صورت جداگانه اعمال شد و از طریق توزین گلدان‌ها و تأمین کسری رطوبت مورد نیاز، میزان رطوبت گلدان‌ها در طول دوره رشد به طور ثابت حفظ شد (۸، ۳۶). به منظور سنجش فتوسنتز خالص، CO_2 درون سلولی و تعرق از دستگاه سنجش تبادلات گازی برگ (فتوسنتز متر) استفاده شد (KR8700 system, Korea Tech Inc Suwon., Korea). این دستگاه از یک بخش مرکزی که مسئول پردازش داده‌ها و از یک اتاقک برگ که محل قرارگیری برگ جوان و سالم گیاه است، تشکیل شده است. به منظور رعایت شرایط استاندارد در تمامی تیمارها از برگ‌های دوم و سوم استفاده شد. میزان کلروفیل برگی در هر تیمار با استفاده از دستگاه کلروفیل-متر (Opti-CCM-200 plus, Sciences Inc, NH., USA) انجام شد. تعیین میزان کلروفیل برگ بر اساس میانگین ۱۰ تکرار در هر تیمار بود. تعیین عملکرد فتوشمیایی $PSII$ (F_v/F_m) به وسیله دستگاه کلروفیل فلوریمتر (Pocket PEA, Hansatech, Instruments Ltd., King's Lynn, Norfolk, England) انجام شد. این دستگاه نسبت F_v/F_m را به صورت اتوماتیک از طریق معادله ذکر شده ($F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m$) محاسبه می‌کند که در آن F_m فلورسانس بیشینه، F_0 فلورسانس حداقل و F_v فلورسانس متغیر است (۲۰). بدین صورت که ابتدا با استفاده از گیره‌های مخصوص دستگاه، سطح برگ مورد نظر به مدت ۲۰ دقیقه در شرایط تاریکی قرار گرفت. سپس با اتصال رابط دستگاه به برگ، نسبت F_v/F_m در هر تیمار ۶ بار خوانده شد و میانگین کل به عنوان عدد مورد نظر یادداشت گردید. اندازه‌گیری صفات مورد نظر ۳ بار در طی فصل رشد گیاه در مراحل رویشی (گیاهچه ای)، گلدهی و غلاف دهی انجام گرفت.

آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال خطای $(p \leq 0.05)$ مقایسه شدند.

کلروفیل معنی دار بود (جدول های ۲، ۳ و ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در مرحله گیاهچه ای نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی اختلاف معنی داری بین تیمارها مشاهده نشد.

نتایج

محتوای کلروفیل: اثرات متقابل کمپوست و تنش خشکی

در هر ۳ مرحله گیاهچه ای، گلدهی و غلاف دهی بر میزان

جدول ۲- تجزیه واریانس مؤلفه های فتوسنتزی گیاه عدس تحت تأثیر سطوح مختلف کمپوست در ۵ سطح (۰، ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی) و تنش خشکی در ۳ سطح (۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با ۳ تکرار در مرحله گیاهچه‌ای.

منابع تغییر	درجه آزادی	تعرق	فتوسنتز	CO ₂ زیر روزنه	محتوای کلروفیل	بازده کوانتومی بیشینه
میانگین مربعات						
کمپوست	۴	۷۵۳/۱۴۴**	۰/۷۴**	۱۲۴۳/۰۲۲**	۰/۱۰۸**	۰/۰۰۱**
تنش خشکی	۲	۱۹۰۲۷/۴۴۸**	۳۴/۱۷۰**	۱۶۸۲۹/۰۸۴**	۱۳/۶۵۱**	۰/۰۰۹**
کمپوست×تنش	۸	۴۷/۰۱۰*	۰/۰۷۵*	۱۰۱/۸۹۳**	۰/۰۱۶*	۰/۰۰۰۱**
خطای آزمایش	۳۰	۲۳/۸۲۵	۰/۰۳۱	۲۸/۳۵۰	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات (%)	-	۴/۳۸	۴/۹۹	۱/۵۷	۵/۰۲	۰/۷۱

ns، *، ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۳- تجزیه واریانس مؤلفه های فتوسنتزی گیاه عدس تحت تأثیر سطوح مختلف کمپوست در ۵ سطح (۰، ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی) و تنش خشکی در ۳ سطح (۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با ۳ تکرار در مرحله گلدهی.

منابع تغییر	درجه آزادی	تعرق	فتوسنتز	CO ₂ زیر روزنه	محتوای کلروفیل	بازده کوانتومی بیشینه
میانگین مربعات						
کمپوست	۴	۱۵۰۸/۴۷۳**	۵/۱۷۷**	۸۸۳/۸۰۳**	۰/۳۷۴**	۰/۰۰۱**
تنش خشکی	۲	۶۲۴۷۶/۲۶۱**	۹۳/۸۸۳**	۳۳۷۰۰/۸۱۰**	۶/۵۶۴**	۰/۰۵۳**
کمپوست×تنش	۸	۴۷۲/۰۲۲**	۰/۳۲۰*	۲۱/۱۷۱*	۰/۰۳۰*	۰/۰۰۰۳*
خطای آزمایش	۳۰	۵۲/۰۰۲	۰/۱۵۳	۲۵/۹۳۴	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات (%)	-	۵/۴۳	۵/۴۶	۱/۰۶	۳/۵۱	۰/۶۳

ns، *، ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۴- تجزیه واریانس مؤلفه های فتوسنتزی گیاه عدس تحت تأثیر سطوح مختلف کمپوست در ۵ سطح (۰، ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی) و تنش خشکی در ۳ سطح (۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با ۳ تکرار در مرحله غلاف‌دهی.

منابع تغییر	درجه آزادی	تعرق	فتوسنتز	CO ₂ زیر روزنه	محتوای کلروفیل	بازده کوانتومی بیشینه
میانگین مربعات						
کمپوست	۴	۸۸/۸۵۹**	۴/۳۰۶**	۱۸۴۴/۷۸۲**	۰/۲۰۲*	۰/۰۰۰۱**
تنش خشکی	۲	۴۴۱۲۴/۸۹۰**	۳۴۹/۰۳۹**	۶۵۰۶۳/۰۲۲**	۱۲/۷۱۱**	۰/۰۲۵**
کمپوست×تنش	۸	۲۹/۵۹۸*	۱/۵۹۱*	۳۷۲/۴۸۹*	۰/۰۱۸*	۰/۰۰۰۱*
خطای آزمایش	۳۰	۲۰/۴۸۱	۰/۷۶۲	۲۷۶/۸۷۲	۰/۰۶۴	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات (%)	-	۳/۵۷	۷/۷۶	۳/۵۰	۵/۴۰	۰/۹۵

ns، *، ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

اما در شرایط تنش خشکی شدید تیمار ۳۵ درصد کود کمپوست در مقایسه با سطح شاهد (سطح بدون استفاده از کود کمپوست) به طور معنی‌داری محتوای کلروفیل را افزایش داد. در شرایط تنش خشکی ملایم، سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد کود کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین پارامترهای فتوسنتزی گیاه عدس تحت تأثیر سطوح مختلف کمپوست در ۵ سطح (۰، ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی) و تنش خشکی در ۳ سطح (۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با ۳ تکرار در مرحله گیاهچه‌ای

تیمارها/کمپوست	تعرق ($\text{mg dm}^{-2}\text{hr}^{-1}$)	فتوستنز ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	CO ₂ زیر روزنه (ppm)	محتوای کلروفیل ($\mu\text{g cm}^2$)	بازده کوانتومی پیشینه (F_v/F_m)
بدون تنش خشکی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)					
شاهد	۱۷۲ ^b	۴/۵۰ ^c	۳۵۵/۹ ^{bc}	۳/۳۶ ^a	۰/۷۱۱ ^{bc}
%۵	۱۷۹/۶ ^b	۴/۸۴ ^b	۳۶۰ ^b	۳/۴۱ ^a	۰/۷۱۷ ^{ab}
%۱۵	۱۹۱/۴ ^a	۵/۲۴ ^a	۳۸۱/۵ ^a	۳/۵۷ ^a	۰/۷۲۹ ^{ab}
%۲۵	۱۹۶/۷ ^a	۵/۳۵ ^a	۳۸۹/۱ ^a	۳/۴۵ ^a	۰/۷۳۳ ^a
%۳۵	۲۰۰/۳ ^a	۵/۴۳ ^a	۳۸۹/۱ ^a	۳/۴۵ ^a	۰/۷۳۳ ^a
تنش خشکی ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی)					
شاهد	۱۳۶/۱ ^d	۳/۲۴ ^e	۳۱۷/۹ ^{fg}	۲/۲۳ ^d	۰/۶۸۲ ^{def}
%۵	۱۳۸/۱ ^d	۳/۱۸ ^e	۳۲۰/۸ ^f	۲/۲۹ ^{cd}	۰/۶۸۸ ^{def}
%۱۵	۱۴۹/۳ ^c	۳/۳۷ ^e	۳۳۹ ^e	۲/۴۹ ^{bc}	۰/۶۹۶ ^{cde}
%۲۵	۱۵۸/۶ ^c	۳/۸۴ ^d	۳۴۴/۴ ^{de}	۲/۵۴ ^b	۰/۷۰۸ ^{bc}
%۳۵	۱۵۸/۹ ^c	۳/۹۲ ^d	۳۴۵/۸ ^{cd}	۲/۶۴ ^b	۰/۷۱۰ ^{bc}
تنش خشکی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی)					
شاهد	۱۱۱ ^e	۱/۸۹ ^g	۳۰۰/۳ ⁱ	۱/۴۲ ^f	۰/۶۷۱ ^f
%۵	۱۱۲/۷ ^e	۱/۸۹ ^g	۳۰۶/۳ ^{hi}	۱/۴۶ ^{ef}	۰/۶۷۰ ^f
%۱۵	۱۱۸/۴ ^e	۲/۰۷ ^{fg}	۳۱۰/۴ ^{gh}	۱/۵۷ ^{ef}	۰/۶۷۷ ^{ef}
%۲۵	۱۲۰/۹ ^e	۲/۱۸ ^{fg}	۳۱۲/۸ ^{fgh}	۱/۶۲ ^{ef}	۰/۶۹۵ ^{cde}
%۳۵	۱۲۱/۸ ^e	۲/۲۳ ^f	۳۱۳/۹ ^{fgh}	۱/۶۵ ^e	۰/۶۹۸ ^{cde}

حروف یکسان بیان‌گر معنی‌دار نبودن میانگین‌ها در سطح $p \leq 0.05$ است.

سطوح کمپوست مورد مطالعه در مقایسه با سطح شاهد در هر ۳ تیمار تنش خشکی (بدون تنش، ملایم و شدید) اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند (جدول ۷).

تعرق: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش تیمارهای کمپوست و تنش خشکی بر میزان تعرق برگ‌ها در گیاه عدس معنی‌دار است (جدول ۲، ۳ و ۴). مقایسه میانگین داده‌ها در مرحله گیاهچه‌ای نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش خشکی ملایم، تیمارهای کمپوست مورد مطالعه به جز سطح ۵ درصد منجر به افزایش معنی‌دار تعرق در مقایسه با تیمار شاهد شد. در

در مرحله گلدهی نتایج نشان داد که در شرایط تنش ملایم و شدید، سطوح ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد کود کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار این صفت در مقایسه با سطح شاهد شد به طوری که بیشترین محتوای کلروفیل در هر دو تیمار به سطح ۳۵ درصد تعلق داشت. در شرایط بدون تنش خشکی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت (جدول ۶). مقایسه میانگین اثرات متقابل استفاده از کمپوست و تنش خشکی در مرحله غلاف‌دهی گیاه عدس نشان داد که تنش خشکی شدید منجر به کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل در مقایسه با شرایط بدون تنش شد اما

(جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین‌ها در مرحله غلاف دهی نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش خشکی شدید، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کمپوست و شاهد مشاهده نشد اما در شرایط تنش ملایم سطوح ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد منجر به افزایش معنی‌دار میزان تعرق در مقایسه با سطح شاهد شد (جدول ۷).

شرایط تنش خشکی شدید تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کمپوست مشاهده نشد (جدول ۵). نتایج در مرحله گلدهی نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، سطوح کمپوست مورد استفاده و سطح شاهد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در شرایط تنش ملایم و شدید، سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد کمپوست بیشترین میزان تعرق را داشتند که نسبت به تیمار شاهد این افزایش معنی‌داری بود.

جدول ۶- مقایسه میانگین پارامترهای فتوسنتزی گیاه عدس تحت تأثیر سطوح مختلف کمپوست در ۵ سطح (۰، ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی) و تنش خشکی در ۳ سطح (۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با ۳ تکرار در مرحله گلدهی

تیمارها/کمپوست	تعرق ($\text{mg dm}^{-2}\text{hr}^{-1}$)	فتوسنتز ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	CO ₂ زیر روزنه (ppm)	محتوای کلروفیل ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	بازده کوانتومی بیشینه (F_v/F_m)
بدون تنش خشکی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)					
شاهد	۱۹۲/۸ ^a	۸/۱۰ ^{bc}	۵۱۵/۲ ^c	۴/۶۴ ^a	۰/۷۹۸ ^a
%۵	۱۸۷/۷ ^a	۸/۰۴ ^c	۵۱۶/۷ ^c	۴/۶۱ ^a	۰/۷۹۶ ^a
%۱۵	۱۹۴/۴ ^a	۹/۷۴ ^a	۵۳۱/۴ ^b	۴/۸۰ ^a	۰/۸۰۶ ^a
%۲۵	۲۰۰/۷ ^a	۹/۸۸ ^a	۵۳۸/۶ ^{ab}	۴/۸۷ ^a	۰/۸۰۴ ^a
%۳۵	۱۹۵/۴ ^a	۱۰/۱۰ ^a	۵۴۰/۴ ^a	۴/۸۷ ^a	۰/۸۱۱ ^a
تنش خشکی ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی)					
شاهد	۱۱۲/۶ ^d	۶/۹۱ ^d	۴۷۴/۲ ^f	۳/۵۹ ^{de}	۰/۶۸۸ ^{ef}
%۵	۱۱۲/۲ ^d	۷/۳۴ ^d	۴۷۷/۳ ^{ef}	۳/۷۷ ^{cde}	۰/۷۱۹ ^d
%۱۵	۱۳۲/۴ ^c	۸/۳۰ ^{bc}	۴۸۴/۳ ^{de}	۳/۹۵ ^{bc}	۰/۷۲۰ ^d
%۲۵	۱۵۹/۹ ^b	۸/۳۸ ^{bc}	۴۸۷/۶ ^d	۴/۰۵ ^b	۰/۷۳۸ ^{bc}
%۳۵	۱۷۰/۵ ^b	۸/۷۹ ^b	۴۹۲/۷ ^d	۴/۰۷ ^b	۰/۷۴۲ ^b
تنش خشکی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی)					
شاهد	۵۷/۸۴ ^g	۳/۷۹ ^g	۴۲۲/۶ ⁱ	۳/۱۵ ^f	۰/۶۷۹ ^{ef}
%۵	۵۸/۹۷ ^g	۳/۹۸ ^g	۴۲۴ ⁱ	۳/۱۶ ^f	۰/۶۷۶ ^f
%۱۵	۶۴/۲۱ ^{fg}	۴/۱۵ ^{fg}	۴۳۳/۴ ^h	۳/۵۴ ^e	۰/۶۸۷ ^{ef}
%۲۵	۸۲/۸۷ ^{ef}	۴/۸۰ ^{ef}	۴۴۳/۹ ^g	۳/۶۲ ^{de}	۰/۷۱۵ ^d
%۳۵	۷۷/۰۴ ^e	۵/۰۷ ^e	۴۴۴/۵ ^g	۳/۸۳ ^{bcd}	۰/۷۱۸ ^d

حروف یکسان بیان‌گر معنی‌دار نبودن میانگین‌ها در سطح $p \leq 0.05$ است.

افزایش معنی‌دار CO₂ زیر روزنه نسبت به تیمارهای شاهد و ۵ درصد کمپوست شد. در شرایط تنش ملایم و شدید نیز تیمارهای کمپوست به جز تیمار ۵ درصد منجر به افزایش معنی‌دار این صفت در مقایسه با سطوح شاهد شد، به طوری که بیشترین و کم‌ترین میزان CO₂ زیر روزنه در هر دو شرایط تنش ملایم و شدید به ترتیب در تیمار ۳۵

غلظت CO₂ زیر روزنه: آنالیز واریانس داده‌ها (جدول ۲، ۳ و ۴) نشان داد که اثر متقابل کود کمپوست و تنش خشکی بر غلظت CO₂ زیر روزنه در مراحل گیاهیچه‌ای، گلدهی و غلاف دهی معنی‌دار است. نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که در مرحله گیاهیچه‌ای در شرایط بدون تنش خشکی تیمارهای ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد کمپوست منجر به

مرحله غلاف دهی گیاه عدس نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، میزان CO_2 زیر روزنه با استفاده از کود کمپوست در سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد به طور معنی داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داشت. در شرایط تنش ملایم اختلاف معنی داری بین سطوح کمپوست مشاهده نشد اما در شرایط تنش شدید میزان این صفت در تیمار ۳۵ درصد کمپوست نسبت به شاهد افزایش معنی دار داشت (جدول ۷).

درصد کمپوست و تیمار شاهد بود (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها در مرحله گلدهی در هر ۳ شرایط تنش خشکی (بدون تنش، ملایم و شدید) مشابه بود، بدین صورت که تیمارهای ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد کمپوست به صورت معنی داری میزان CO_2 زیر روزنه را افزایش داد. در بین تیمارهای کمپوست سطح ۳۵ درصد در هر ۳ شرایط تنش خشکی بیشترین میزان بود که با تیمار ۲۵ درصد اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۶). نتایج در

جدول ۷- مقایسه میانگین پارامترهای فتوسنتزی گیاه عدس تحت تأثیر سطوح مختلف کمپوست در ۵ سطح (۰، ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی) و تنش خشکی در ۳ سطح (۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با ۳ تکرار در مرحله غلاف‌دهی

تیمارها/کمپوست	تعرق ($mg\ dm^{-2}hr^{-1}$)	فتوسنتز ($\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$)	CO_2 زیر روزنه (ppm)	محتوای کلروفیل ($\mu g\ cm^2$)	بازده کوانتومی بیشینه (F_v/F_m)
بدون تنش خشکی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)					
شاهد	۱۷۹/۱ ^a	۱۲/۴۶ ^b	۵۱۳/۶ ^{bc}	۳/۹۷ ^{abc}	۰/۸۶۲ ^{bc}
%۵	۱۸۰/۳ ^a	۱۲/۹۲ ^b	۵۱۵/۷ ^{bc}	۳/۹۴ ^{abc}	۰/۸۵۷ ^c
%۱۵	۱۸۳/۶ ^a	۱۵/۳۵ ^a	۵۳۴/۴ ^{ab}	۴/۰۱ ^{abc}	۰/۸۷۰ ^{abc}
%۲۵	۱۸۲/۶ ^a	۱۵/۴۵ ^a	۵۵۶/۷ ^a	۴/۱۹ ^{ab}	۰/۸۷۸ ^{ab}
%۳۵	۱۸۲/۴ ^a	۱۵/۴۷ ^a	۵۴۸/۵ ^a	۴/۲۴ ^a	۰/۸۸۴ ^a
تنش خشکی ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی)					
شاهد	۱۲۰ ^c	۷/۲۳ ^c	۴۷۸/۷ ^d	۳/۶۹ ^c	۰/۸۳۰ ^d
%۵	۱۱۶/۶ ^c	۶/۹۲ ^c	۴۷۷/۵ ^d	۳/۷۲ ^{bc}	۰/۸۳۲ ^d
%۱۵	۱۲۹/۷ ^b	۷/۴۵ ^c	۴۸۸/۱ ^{cd}	۳/۸۵ ^{abc}	۰/۸۳۶ ^d
%۲۵	۱۳۰ ^b	۷/۸۵ ^c	۵۰۰/۹ ^{cd}	۳/۹۴ ^{abc}	۰/۸۳۷ ^d
%۳۵	۱۳۰/۶ ^b	۷/۹۵ ^c	۵۰۴/۴ ^{cd}	۳/۸۷ ^{abc}	۰/۸۳۵ ^d
تنش خشکی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی)					
شاهد	۷۰/۸۵ ^d	۴/۶۸ ^d	۴۷۸/۷ ^d	۲/۱۹ ^c	۰/۷۹۲ ^e
%۵	۷۲/۸۳ ^d	۴/۹۳ ^d	۴۷۷/۵ ^d	۲/۱۰ ^{bc}	۰/۷۹۰ ^e
%۱۵	۷۲/۷۱ ^d	۵/۱۸ ^d	۴۸۸/۱ ^{cd}	۲/۳۵ ^{abc}	۰/۷۸۸ ^e
%۲۵	۷۴/۶۲ ^d	۵/۰۹ ^d	۵۰۰/۹ ^{cd}	۳/۹۴ ^{abc}	۰/۷۸۲ ^e
%۳۵	۷۴/۸۱ ^d	۵/۱۹ ^d	۵۰۴/۴ ^{cd}	۳/۸۷ ^{abc}	۰/۷۹۰ ^e

حروف یکسان بیان‌گر معنی‌دار نبودن میانگین‌ها در سطح $p \leq 0.05$ است.

نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی استفاده از کود کمپوست در سطوح ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد منجر به افزایش معنی دار میزان فتوسنتز نسبت به تیمار شاهد شد. در شرایط تنش ملایم افزایش معنی دار فتوسنتز خالص در تیمارهای ۲۵ و ۳۵ درصد کمپوست مشاهده شد. در

فتوسنتز خالص: تجزیه واریانس داده‌های مرتبط با برهم کنش کمپوست و تنش خشکی بر میزان فتوسنتز خالص در هر ۳ مرحله نشان داد که اثرات متقابل تیمارهای مورد آزمایش در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار است (جدول ۲، ۳ و ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها در مرحله گیاهچه ای

شرایط تنش خشکی ملایم و شدید تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت.

بحث

محتوای کلروفیل: شاخص کلروفیل در شرایط تنش های محیطی نظیر خشکی و شوری، شاخص مناسبی جهت ارزیابی مقاومت گیاه به تنش محسوب می‌شود (۲۱). مطالعات متعدد نشان دادند که تنش خشکی با افزایش تولید گونه‌های واکنش پذیر اکسیژن (ROS) منجر به پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه رنگدانه های فتوسنتزی می‌شوند (۱۷، ۳۶). در این مطالعه نیز تنش خشکی شدید نسبت به شرایط بدون تنش منجر به کاهش معنی دار محتوای کلروفیل کل در تمامی مراحل فنولوژیک گیاه عدس شد (جدول ۵، ۶ و ۷). گیاهان مقاوم به تنش خشکی از سیستم های کارآمد آنتی اکسیدانی برخوردار هستند که در از بین بردن رادیکال‌های آزاد نقش مهمی دارند (۳۱). آنزیم های آنتی اکسیدان در گیاهان نظیر پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز برای فعال سازی نیاز به عنصر آهن دارند (۳، ۱۹). کاهش جذب برخی عناصر نظیر منیزیم و آهن در شرایط تنش خشکی شدید عامل اصلی در جهت کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی محسوب می‌شود (۱۵). مهم‌ترین ویژگی استفاده از کود کمپوست بالا بودن میزان عناصر غذایی مثل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و عناصر میکرو مانند آهن، روی، مس و منگنز از در مقایسه با سایر کودهای آلی است (۱۶)، بنابراین به نظر می‌رسد کود کمپوست از طریق در دسترس قرار دادن عناصر میکرو از قبیل آهن در افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان در برگ و ریشه نقش داشته باشد. از طرفی کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی می‌تواند به دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن در رابطه با ساخت موادی مانند پرولین باشد که در تنظیم اسمزی به کار می‌رود (۲۰). افزایش میزان پرولین باعث می‌شود تا گلوتامات که پیش ماده

شرایط تنش خشکی شدید، تیمار ۳۵ درصد کمپوست بیشترین میزان فتوسنتز را داشت که به جز سطوح ۱۵ و ۲۵ درصد با سایر سطوح تفاوت معنی داری داشت (جدول ۵). در مرحله گلدهی مشاهده شد که در شرایط بدون تنش و تنش خشکی ملایم، تیمارهای ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد کمپوست منجر به افزایش معنی دار فتوسنتز خالص در مقایسه با تیمار شاهد شد اما در شرایط تنش شدید، افزایش این صفت در تیمارهای ۲۵ و ۳۵ درصد معنی دار بود (جدول ۶). در مرحله غلاف دهی نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در شرایط بدون تنش خشکی، تیمارهای ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد کمپوست به صورت معنی داری میزان فتوسنتز را افزایش داد اما در شرایط تنش ملایم و شدید، اختلاف معنی داری بین سطوح کمپوست وجود نداشت (جدول ۷).

بازده کوانتومی پیشینه (F_v/F_m): برهم کنش کمپوست و تنش خشکی بر بازده کوانتومی پیشینه در هر ۳ مرحله گیاهچه ای، گلدهی و غلاف دهی معنی دار بود (جدول ۲، ۳ و ۴). در مرحله گیاهچه ای مقایسه میانگین داده های مرتبط با برهم کنش کمپوست و تنش خشکی بر نسبت F_v/F_m نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، تیمارهای ۲۵ و ۳۵ درصد کمپوست به صورت معنی داری میزان این نسبت را افزایش داد. در شرایط تنش ملایم و شدید نیز تیمارهای ۲۵ و ۳۵ درصد کمپوست نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشتند (جدول ۵). در مرحله گلدهی نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش بین سطوح کمپوست و شاهد تفاوت معنی داری وجود نداشت اما در شرایط تنش ملایم، تمامی تیمارهای کمپوست به صورت معنی داری نسبت F_v/F_m را افزایش داد. در شرایط تنش شدید، تیمارهای ۲۵ و ۳۵ درصد کمپوست در افزایش معنی دار این نسبت نقش داشتند (جدول ۶). نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که در مرحله غلاف‌دهی در شرایط بدون تنش خشکی، تیمار ۳۵ درصد کمپوست منجر به افزایش معنی دار این صفت در مقایسه با تیمار شاهد شد اما در

استفاده در این تحقیق (جدول ۵، ۶ و ۷) می‌تواند به دلیل ساختار فیزیکی، شیمیایی و زیستی کمپوست باشد، زیرا کمپوست با توجه به ساختار متخلخل خود، آب زیادی را در خود نگه می‌دارد (۲۶). همچنین این کود حاوی میکروارگانیزم‌ها حاوی برخی میکوریزها شامل قارچ‌های میکوریز می‌باشد که منجر به افزایش سطح ورود آب به ریشه می‌شوند (۱۳، ۳۸، ۳۹)، بنابراین با افزایش آب قابل دسترس در اختیار گیاه روزه‌ها کمتر بسته شده و میزان تعرق کاهش شدیدی ندارد.

غلظت CO₂ زیر روزه: مطالعات متعدد بر روی حبوبات از قبیل نخود، لوبیا و عدس نشان داده است که تحت تأثیر تنش خشکی غلظت CO₂ درون برگ‌ها به واسطه بسته شدن روزه‌ها کاهش می‌یابد (۸، ۳۵). بسته شدن روزه‌ها در طی تنش خشکی گرچه به منظور کاهش هدر رفت آب صورت می‌گیرد اما به علت ممانعت از ورود CO₂ می‌تواند فتوسنتز را به کمتر از نقطه جبرانی کاهش دهد (۲۳). در این مطالعه نیز تنش خشکی در تمامی مراحل فنولوژیک گیاه عدس در مقایسه با شرایط بدون تنش غلظت CO₂ زیر روزه‌ها را به صورت معنی‌داری کاهش داد (جدول ۵، ۶ و ۷). محققان گزارش کردند که استفاده از کود کمپوست منجر به افزایش جمعیت برخی میکروارگانیزم‌های خاک نظیر باکتری‌های تثبیت‌کننده اکتینومیسیت و نیز جمعیت میکوریزی همزیست با ریشه گیاهان می‌شود (۱۰). میکروارگانیزم‌های خاک مثل قارچ میکوریز برای متابولیسم خود به کربوهیدرات‌های گیاه نیاز دارند، به همین دلیل تجمع قندها در ریشه افزایش یافته و با توجه به اینکه قندها از اسمولیت‌های سازگار محسوب شده بنابراین می‌تواند در جهت تنظیم فشار اسمزی محیط ریشه نقش ایفا کند و منجر به بهبود اثرات منفی تنش مانند کمتر بسته شدن روزه‌ها و فراهم شدن CO₂ مورد نیاز برای فتوسنتز شود (۱۱). در آزمایشی که بر روی اثرات استفاده از مخلوط کمپوست و خاک در بستر کشت گیاهان انجام شد، نتایج نشان داد که استفاده از کمپوست در خاک منجر

ساخت کلروفیل و پرولین است، کمتر در مسیر ساخت کلروفیل شرکت کند (۳). کودهای آلی نظیر کمپوست و ورمی‌کمپوست با توجه به ظرفیت نگه‌داری بالای آب در آن‌ها و در دسترس قرار دادن عناصری مثل پتاسیم و نیتروژن منجر به کاهش اثرات منفی ناشی از تنش اسمزی شده، بنابراین گلوتامات کمتر در مسیر سنتز پرولین قرار می‌گیرد (۲۰، ۳۸). در این مطالعه مشاهده شد که در شرایط تنش ملایم و شدید، سطوح کمپوست در افزایش و ثبات کلروفیل در مراحل اولیه رشد گیاه (گیاهچه‌ای و گلدهی) نقش داشت و از این طریق منجر به بهبود اثرات مربوط به تنش خشکی در گیاه عدس شد.

تعرق: کاهش میزان تعرق در شرایط تنش خشکی، می‌تواند به عنوان مکانیسمی جهت حفظ آب برگ و جلوگیری از هدر رفتن آن طی تعرق مطرح باشد (۲۴). اما از طرف دیگر می‌تواند به انتقال غیرفعال در آوند چوب و انتقال فعال در آوند آبکش صدمه وارد کند، بدین صورت که با بسته شدن روزه‌ها و محدود شدن تعرق، مکش حاصل از تعرق که نقش در فرآیند صعود آب در آوند چوب دارد، کاهش می‌یابد (۲۰). با کاهش اختلاف پتانسیل فشاری منفی ناشی از مکش تعرق و انتقال غیرفعال در آوند چوب، جذب آب و سایر عناصر مغذی و مورد نیاز گیاه به وسیله ریشه مختل شده و در نتیجه منجر به تشدید اثرات منفی تنش خشکی در گیاه می‌شود (۸). با توجه به اینکه مکانیسم انتقال شیره پرورده در آوند آبکش ارتباط مستقیم با انتقال غیرفعال دارد، بنابراین انتقال شیره پرورده نیز با اختلال رو به رو می‌شود (۲۰). مطالعات مختلف نشان داده است که گیاهانی که از مکانیسم‌های کارآمد تری برای کنترل باز و بسته شدن روزه‌ها به منظور تنظیم تعرق برخوردار هستند قادر به تحمل بهتر شرایط تنش خشکی خواهند بود و با حفظ بیشتر آب درون برگ‌ها و اختلال کمتر در انتقال فعال و غیرفعال، امکان رشد و انجام فرایندهای سلولی را بهتر فراهم می‌نمایند (۲۴، ۳۶، ۴۳). افزایش تعرق با افزایش سطوح کمپوست مورد

به افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک و افزایش غلظت CO_2 محیط آزمایش شد که در تأمین CO_2 فتوسنتزی می‌تواند نقش مهمی داشته باشد (۲۸). در این مطالعه غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای در حالت کلی با کاربرد کمپوست در خاک در سطوح بالا در تمامی مراحل فنولوژیک افزایش معنی‌داری داشت.

فتوستتز خالص: مهم‌ترین عوامل محدود کننده فتوستتز در شرایط تنش خشکی عبارتند از: ۱- عوامل محدود کننده روزنه‌ای، که با بسته شدن روزنه‌ها همراه بوده و ورود CO_2 به عنوان گهرمایه آنزیم رویسکو را محدود می‌کند، در نتیجه با کاهش CO_2 در اطراف آنزیم رویسکو، فرآیند اکسیژناسیون (تنفس نوری) به جای کربوکسیلاسیون (فتوستتز) انجام خواهد شد (۳۲). ۲- عوامل محدود کننده غیر روزنه‌ای که شامل کاهش رنگدانه‌های فتوستتزی در اثر تولید گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن در زنجیره انتقال الکترون فتوستتزی (۲۰)، کاهش مقدار و فعالیت آنزیم رویسکو، مهار سنتز ریبولوز بیس فسفات، کاهش فسفریلاسیون نوری و کاهش تولید عوامل احیایی در اثر اختلال در زنجیره انتقال الکترون می‌باشد (۳۴). در مطالعات مختلف بر روی اثرات تنش خشکی بر گیاهان مشاهده شد که تنش خشکی منجر به کاهش فتوستتز خالص می‌شود (۹، ۱۵). نتایج این مطالعه نیز با نتایج فوق مطابقت داشت به طوری که در تمامی مراحل فنولوژیک گیاه عدس تنش خشکی شدید منجر به کاهش معنی‌دار نرخ فتوستتز خالص در مقایسه با شرایط بدون تنش شد (جدول ۲، ۳ و ۴). کود کمپوست به دلیل تخلخل زیاد، ظرفیت بالای تهویه، زه‌کشی مناسب و ظرفیت بالای نگه‌داری آب با کاهش اثرات تنش خشکی مانند کاهش بسته شدن روزنه‌ها و تأمین CO_2 مورد نیاز برای آنزیم رویسکو می‌تواند منجر به افزایش فتوستتز خالص در گیاهان شود (۴). از طرف دیگر مواد هومیکی موجود در کمپوست دارای ظرفیت جذب بالای فلزات هستند که به دلیل حضور گروه‌های دارای بار منفی نظیر کربوکسیلیک

اسیدها و فنولیک اسیدها می‌باشد (۲۹). استفاده از کودهای ارگانیک از قبیل کمپوست و ورمی‌کمپوست منجر به افزایش عناصر مغذی خاک و افزایش جذب آن‌ها توسط گیاهان می‌شود (۱۰، ۱۱). برخی از عناصر مغذی به عنوان گروه پروستتیک و فعال‌کننده آنزیم‌های آنتی-اکسیدان در گیاهان نیز به شمار می‌روند (۸) که می‌تواند در نابودی گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن نقش داشته باشد. نتایج این آزمایش نیز نشان داد که در مراحل ابتدایی رشد که گیاه نیازمند مواد غذایی بیشتر جهت انجام فرآیندهای رشدی و گلدهی است، استفاده از کمپوست منجر به افزایش میزان فتوستتز در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید شد (جدول ۲ و ۳). در حالت کلی می‌توان گفت استفاده از کود کمپوست علاوه بر فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با در دسترس قرار دادن آب مورد نیاز گیاه باعث کمتر بسته شدن روزنه‌ها و تأمین CO_2 مورد نیاز فتوستتز می‌شود.

بازده کوانتومی بیشینه (F_v/F_m): به منظور تعیین میزان آسیب وارده به دستگاه فتوستتزی از تکنیکی به نام سنجش فلورسانس کلروفیل استفاده می‌شود، در واقع میزان فلورسانس کلروفیل تابعی از فعالیت فتوستتزی برگ می‌باشد (۲۱). از فلورسانس کلروفیل در برنامه‌های اصلاحی که در بهبود تحمل به سرما در ذرت، برنج، مقاومت به گرما در آفتابگردان (۴۲) و تحمل به تنش خشکی در سیب زمینی، نخود و لوبیا استفاده شده است (۸، ۳۶، ۳۷). در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش انتقال الکترون از PSII به PSI بازده کوانتومی بیشینه PSII (F_v/F_m) کاهش می‌یابد (۴۰). نتایج حاصل از بررسی‌ها مؤید این مطلب است که پروتئین D_1 (پلی‌پپتید ساختمانی موجود در PSII)، کمپلکس آزاد کننده اکسیژن و مراکز واکنش PSII تحت تاثیر تنش خشکی تخریب می‌شوند (۲۷، ۴۰). کاهش نسبت F_v/F_m تحت شرایط تنش خشکی در گیاهان مختلف نظیر نخود، لوبیا، ذرت و گندم نیز گزارش شد (۸، ۲۱، ۲۷). کمپوست به دلیل دارا بودن خصوصیات مطلوبی نظیر

داشت. پارامترهای فتوسنتزی (محتوای کلروفیل کل، CO_2 درون سلول، فتوستتر خالص، تعرق و عملکرد فتوشیمیایی (PSII) مورد مطالعه در این گیاه تحت تأثیر تنش خشکی ملایم و شدید نسبت به شرایط بدون تنش کاهش داشت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در مراحل گیاهچه‌ای و گلدهی، استفاده از کود کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار کلیه صفات مورد بررسی در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید شد اما در مرحله غلاف‌دهی در بیشتر صفات فتوسنتزی مورد بررسی تفاوت معنی‌داری با سطح شاهد مشاهده نشد. استفاده از کمپوست در سطوح بالا (۲۵ و ۳۵ درصد) بیشترین تأثیر را بر صفات مورد بررسی داشت در حالی که استفاده از کمپوست در سطوح پایین (۵ درصد) تأثیر معنی‌داری با شاهد نداشت. با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان کاربرد کود کمپوست در جهت کاهش اثرات منفی تنش خشکی در گیاه عدس را پیشنهاد داد.

قابلیت نگهداری بالای آب، ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش عناصر غذایی در خاک و سایر مشخصه‌های سودمند فیزیکی، شیمیایی و زیستی منجر به افزایش پایداری سیستم فتوسنتزی گیاه از طریق کاهش تولید گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن در زنجیره انتقال الکترون، افزایش قابلیت دسترسی بیشتر مواد مغذی و عناصر مورد نیاز برای فعالیت‌های بیوشیمیایی می‌گردد (۴، ۲۵). در این تحقیق مشاهده شد که در مرحله گیاهچه‌ای و گلدهی که گیاه نیازمند فتوستتر بیشتر جهت تأمین مواد غذایی مورد نیاز است، در شرایط تنش ملایم و شدید، سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد کمپوست نسبت به سطح شاهد کارایی PSII را افزایش داد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، افزودن کمپوست به خاک در اکثر صفات فتوسنتزی گیاه عدس بر سطح شاهد برتری

منابع

- ۱- حسین زاده س.ر، امیری ح، اسماعیلی ا. ۱۳۹۵. تأثیر عصاره ورمی کمپوست بر برخی خصوصیات جوانه زنی نخود تحت تنش خشکی. مجله پژوهش‌های گیاهی ۲۹(۳): ۵۸۹-۵۹۸.
- ۲- مظاهری تیرانی م، منوچهری کلاتری خ. ۱۳۸۵. بررسی سه فاکتور سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و اتیلن و اثر متقابل آنها بر جوانه زنی بذر کلزا (*Brassica napus L.*). مجله زیست‌شناسی ایران ۱۹(۴): ۴۰۸-۴۱۸.
- 3- Abrishamchi, P., Ganjeali, A. and Sakeni, H. 2012. Evaluation of morphological traits, proline content and antioxidant enzymes activity in chickpea genotypes (*Cicer arietinum L.*) under drought stress. Iranian Journal of Pulses Research 3(2): 17-30.
- 4- Aggelides, S.M. and Londra, P.A. 2000. Effect of compost produced from town wastes and sewage sludge on the Physical Properties of a Lomy and Clay soil. Bioresource Technology 71: 235-259.
- 5- Ahmadpour, R. and Hosseinzadeh, S.R. 2017. Change in growth and photosynthetic parameters of Lentil (*Lens culinaris Medik.*) in response to methanol foliar application and drought stress. International Journal of Agriculture and Biosciences 6(1): 7-12.
- 6- Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S.R. and Armand, N. 2016. Evaluation of methanol role in reducing the negative effects of water deficit stress in lentil (*Lens culinaris Medik.*). Iranian Journal of Plant Process and Function 5 (17): 1-13.
- 7- Arancon, N.Q., Edwards, C., Dick, R. and Dick, L. 2007. Compost Tea Production and plant growth impacts. Biocycle 48:51-52.
- 8- Amiri, H., Ismaili, A. and Hosseinzadeh, S.R. 2017. Influence of vermicompost fertilizer and water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum L. cv. karaj*). Compost Science and Utilization doi: 10.1080/1065657X.2016.1249313.
- 9- Bahadoran, M., Abrishamchi, P., Ejtehadi, H. and Ghassemzadeh, F. 2015. Study on some physiological characteristics of *Salsola richteri* in drought condition in the two desert regions of the South Khorasan province. Iranian Journal of Plant Biology 7(24): 1-14.

- 10- Bar-Tal, A., Yermiyahu, U., Beraud, J., Keinan, M., Rosenberg, R., Zohar, D., Rosen, V. and Fine, P. 2004. Nitrogen, phosphorus, and potassium uptake by wheat and their distribution in soil following successive, annual compost applications. *Journal of Environment Quality* 33:1855-1865.
- 11- Bender Ozenç, D. 2006. Effects of composted hazelnut husk on growth of tomato plants. *Compost Science and Utilization* 14:271-275.
- 12- Beyk Khurmizi, A., Ganjeali, A., Abrishamchi, P. and Parsa, M. 2013. Interactions of vermicompost and salinity on some morphological, physiological and biochemical traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Iranian Journal of Pulses Research* 4(1): 81-98.
- 13- Elvan, L.M. 2001. Effect of soil water regimes and inoculation with mycorrhizae on growth and nutrients content of maize plant. *Zagazig journal Agricultural Research* 28: 163-172.
- 14- Erskine, W., Tufail, M., Russel, A., Tyagi, M.C., Rahman, M.M. and Saxena, M.C. 1994. Current and future strategies in breeding lentil for resistance to biotic and abiotic stresses. *Euphytica* 73: 127-135.
- 15- Flexas, J. and Medrano, H. 2008. Drought-inhibition of photosynthesis in C₃-plants: Stomatal and non-stomatal limitation revisited. *Annual of Botany* 183: 183-189.
- 16- Fricke, K. and Vogtammann, H. 1994. Compost quality: Physical characteristics, nutrient content, heavy metals and organic chemicals. *Toxicity and Environment of Chemistry* 43: 95-114.
- 17- Ganjeali, A., Porsa, H. and Bagheri, A. 2011. Assessment of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for drought tolerance. *Agriculture Water Management* 98: 1477-1484.
- 18- Habibi, Gh., Sadeghipour, Z. and Hajiboland, R. 2015. Effect of salicylic acid on tobacco (*Nicotiana rustica*) plant under drought conditions. *Iranian Journal of Plant Biology* 7(25): 17-28.
- 19- Hajiboland, R., Pasbani, B. and Amirzad, H. 2009. Effect of low Zn supply on growth, leaf pigments and photosynthesis in red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata f. rubra) plants grown under different light conditions. *Iranian Journal of Plant Biology* 1(2): 25-36.
- 20- Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. and Ismaili, A. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica* 54 (1): 87-92.
- 21- Hosseinzadeh, S.R., Salimi, A., Ganjeali, A. and Ahmadpour, R. 2014. Effects of foliar application of methanol on photosynthetic characteristics chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology* 5: 115-132.
- 22- Huerta, E., Vidal, O., Jarquin, A., Geissen, V. and Gomez, R. 2010. Effect of vermicompost on the growth and production of Amashito Pepper, Interactions with Earthworms and Rhizobacteria. *Compost Science and Utilization* 18: 282-288.
- 23- Johnson, J.D., Tognetti, T. and Paris, P. 2002. Water relations and gas exchange in poplar and willow under water stress and elevated atmospheric CO₂. *Physiology Plantarum* 115: 93-100.
- 24- Karimi, S., Yadollahi, A. and Arzani, K. 2015. Gas-exchange response of almond genotypes to water stress. *Photosynthetica* 53: 29-34.
- 25- Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N. and Abdelly, C. 2009. Effectiveness of compost use in salt-affected soil. *Hazardous Materials* 171(3): 29-37.
- 26- Loecke, T., Liebman, D., Cambardella, M. and Richard, T.L. 2004. Corn growth responses to composted and fresh solid swine manures. *Crop Science* 44:177-184.
- 27- Lu, Q., Lu, C. and Zhang, J. 2002. Photosynthesis and chlorophyll a fluorescence during flag leaf senescence of field-grown wheat plants. *Journal of Plant Physiology*. 159: 1173-1178.
- 28- Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B. and Grego, S. 2000. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology* 72:9-17.
- 29- Matos, G.D. and Arruda, M.A.Z. 2003. Compost as natural adsorbent for removing metal ions from laboratory effluents. *Process Biochemistry* 39:81-88.
- 30- Mylavarapu, R.S. and Zinati, G.M. 2009. Improvement of soil properties using compost for optimum parsley production in sandy soils. *Scientia Horticulturae* 120: 426-430.
- 31- Nasr Esfahani, M. 2013. Effect of dry stress on growth and antioxidant system in three chickpea

- (*Cicer arietinum* L.) cultivars. Iranian Journal of Plant Biology 5(15): 111-124.
- 32- Nasr Esfahani, M. and Madadkar Haghjou, M. 2015. Response of *Glycine max* to drought stress in relation to growth parameters and some key enzymes of carbon and nitrogen metabolism. Iranian Journal of Plant Biology 7(24): 77-89.
- 33- Oweis, T., Hachum, A. and Pala, M. 2005. Lentil production under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. Agriculture Water Management 68: 251-265.
- 34- Pagter, M., Bragato, C. and Brix, H. 2005. Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. Aquatic Botany 81: 285-299.
- 35- Parsa, M. and Bagheri, A. 2008. Legumes. Publications Jahad University of Mashhad.
- 36- Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A.R. and Najafi, F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Acta Biologica Cracoviensia-Series Botanica 53: 47-56.
- 37- Ranalli, P., Di-Candilo, M. and Bagatta, M. 1997. Drought Tolerance Screening for Potato Improvement. Plant Breeding 116: 290-292.
- 38- Sainz, M.J., Taboada-Castro, M.T. and Vilarino, A. 1998. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. Plant and Soil 205: 85-92.
- 39- Serhat, Z. and Baran, B. 2003. Influences of composted hazelnut husk on some Physical Properties of Soils. Bioresource Technology 88: 241-244.
- 40- Sikder, S., Foulkes, J. and West, H. 2015. Evaluation of photosynthetic potential of wheat genotypes under drought condition. Photosynthetica 53: 47-54.
- 41- Tepe, I., Erman, M., Yazlik, A., Levent, R. and Ipek, K. 2005. Comparison of some winter lentil cultivars in weedcrop competition. Crop Protection 24(6): 585-589.
- 42- Wilson, J.M. and Greaves, J.A. 1993. Development of and water stress in crop plants. In: Adaptation of food crops to temperature and water stress, AVRDC, Shanhua, Taiwan, pp: 389-398.
- 43- Yordanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. Bulgharestan Journal of Plant Physiology 2: 187-206.

Influence of compost fertilizer on some photosynthetic parameters of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in three growth stages under drought stress

Ahmadpour R.¹, Armand N.¹, Hosseinzadeh S.R.¹ and Rigi G.²

¹ Dept. of Biology, Faculty of Sciences, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, I.R.of Iran

² Dept. of Genetics, Faculty of Science, University of Shahrekord, Shahrekord, I.R. of Iran

Abstract

Compost produced from municipal waste and has suitable chemical and physical properties, which plays an important role in reducing the negative effects of environmental stress in plants. In order to evaluate the effects of compost fertilizer on photosynthetic parameters of phenological stages of lentil under drought stress, a factorial experiment in completely randomized design was conducted with three replications ($p \leq 0.05$). Experiment were carried out with five ratios of compost to soil, *i.e.*, 0:100, 5:95, 15:85, 25:75 and 35:65, and three levels of drought stress including non-stress, moderate and severe drought stress (100, 75, and 25% of field capacity, respectively). Results showed that, adding 25 and 35% compost to the soil at seedling stage under moderate stress, led to significant increase of total chlorophyll content (12 and 15%), intercellular CO₂ (8 and 8%), net-photosynthesis (16 and 17%) and efficiency of PSII (4 and 4%), compared with the control. However, under severe stress, it was effective levels of 35% compared with other levels. At flowering stage, 25 and 35% compost levels under moderate and severe stress led to significant increase in all parameters compared with control group. According to the results, this study suggests that compost plays an important role in reducing the negative effects of stress on photosynthetic performance of lentil, especially in the early stages of growth.

Key words: Water stress, Chlorophyll content, Chlorophyll fluorescence, Organic fertilizer, Transpiration