نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال هشتم / شماره چهارم / زمستان ۱۳۹۷

تأثیر تنش خشکی و استفاده از کود ورمی‌کمپوست روی برخی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و عملکرد لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.)

حسن نوریانی[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱/۲۱)

چکیده

به‌منظور بررسی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و عملکرد لوبیا سبز در پاسخ به مقادیر کود ورمی‌کمپوست در شرایط تنش خشکی آزمایشی به‌صورت مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۵ در منطقه دزفول با استفاده از طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. تنش خشکی به‌صورت دور آبیاری در چهار سطح آبیاری پس از ۱۰۰، ۱۴۰، ۱۸۰ و ۲۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به‌عنوان فاکتور اصلی و مقادیر صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. با افزایش تنش خشکی از ۱۴۰ به ۲۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، مقادیر حداکثر ماده خشک گیاه، شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه و دوام سطح برگ به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. به‌جز سرعت رشد نسبی که کمتر تحت تأثیر مقادیر ورمی‌کمپوست قرار گرفت، افزایش کاربرد ورمی‌کمپوست از ۴ به ۱۲ تن در هکتار باعث افزایش جدی در دیگر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد نسبت به تیمار شاهد شد. برهمکنش تیمارهای تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر کلیه صفات مورد بررسی به‌جز عملکرد غلاف سبز غیرمعنی‌دار بود. میانگین درصد افزایش عملکرد در اثر تیمارهای کاربرد ورمی‌کمپوست (نسبت به شاهد) در شرایط تنش خشکی (۲۱ درصد) بیشتر از شرایط آبیاری مطلوب (۱۶ درصد) بود. بیشترین و کمترین میزان همبستگی با عملکرد، به‌ترتیب مربوط به وزن خشک کل گیاه (r =۰/۹۷) و سرعت رشد نسبی (r =-۰/۲۷) بود. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که مصرف ورمی‌کمپوست در شرایط تنش و بدون تنش با تأثیر مثبت طی دوره رشد گیاه سبب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک رشد شده که در نهایت افزایش عملکرد غلاف سبز را به‌دنبال داشت و می‌تواند برای زراعت لوبیا سبز در منطقه توصیه شود.**

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، سطح برگ، غلاف سبز، ماده خشک، همبستگی

۱. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: h_noryani@yahoo.com

مقدمه

لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) یکی از مهم‌ترین لگوم‌های خوراکی است که میزان پروتئین آن حدود دو برابر غلات است و می‌تواند به‌عنوان مکمل پروتئین غلات در رژیم غذایی جای گیرد (۱۲). این گیاه به شرایط آب‌وهوایی نسبتاً خنک با دمای مطلوب بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد در طول دوران زایشی سازگار است و به‌عنوان یک گیاه حساس به کمبود آب شناخته می‌شود. مقدار نیتروژنی که کشت لوبیا در یک سال به خاک اضافه می‌کند حدود ۱۰۰-۶۰ کیلوگرم در هکتار است و به همین دلیل گیاهی است که در تناوب زراعی نقش مؤثری دارد (۱۳). شناخت و بررسی شاخص‌های رشد در تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر عملکرد گیاه و اجزای آن از اهمیت زیادی برخوردار است (۸). در میان شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، سرعت رشد محصول، سطح برگ و دوام آن اهمیت بیشتری در بررسی‌های فیزیولوژیکی تولید ماده خشک گیاهی دارند. در این راستا شاخص سطح برگ (Leaf area index) یکی از معیارهای اساسی و مهم در تعیین قدرت فتوسنتزی گیاه محسوب می‌شود. مطالعه رشد و تجمع ماده خشک در گیاهان مختلف نشان داده است که تولید ماده خشک به شاخص سطح برگ و مقدار تشعشع دریافت شده در طول دوره رشد و کارایی گیاه در تبدیل تشعشع دریافت شده وابسته است (۲۰). سرعت رشد محصول (Crop growth rate) به بهترین شکل مفهوم رشد را می‌رساند و سرعت تولید را در واحد سطح زمین در زمان مشخص ساخته و اثر متقابل تنفس و فتوسنتز را نشان می‌دهد. میزان رشد نسبی (Relative growth rate) بیان‌کننده مقدار ماده خشک تجمع یافته در گیاه در واحد زمان است و در گیاهان زراعی در دوره زندگی گیاه روند کاهشی دارد. سرعت تجمع ماده خشک در واحد سطح برگ در واحد زمان را سرعت جذب خالص (Net assimilation rate) می‌نامند. تولید حداکثر ماده خشک در واحد سطح زمین به توسعه سریع و زودهنگام سطح برگ در ابتدای فصل بستگی دارد تا از سرعت جذب خالص ابتدای فصل استفاده شود (۱۰).

وقوع تنش در گیاهان زراعی بر رشد، خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی آنها اثر می‌گذارد و درنهایت، نتیجه این فعل و انفعالات در میزان عملکرد گیاه پدیدار می‌شود. تنش خشکی نیز رشدونمو گیاهان را محدود می‌کند. این تنش باعث آسیب به غشا و سیستم فتوسنتزی از طریق بستن روزنه‌ها و درنتیجه نرسیدن دی‌اکسید کربن به کلروپلاست‌ها و همچنین کاهش پتانسیل آب سلول و تأثیر منفی آن بر ساختمان پیچیده دستگاه فتوسنتزی می‌شود که می‌تواند رشد ریشه و ساقه را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش سطح برگ گیاهان شود (۱ و ۳). شریفی و همکاران (۱۷) با بررسی سطوح مختلف تنش خشکی بر عملکرد لوبیا سبز گزارش دادند تنش باعث کاهش ارتفاع گیاه، تعداد نیام و عملکرد دانه شد. از عوامل مؤثر در بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی استفاده مناسب از کودهای آلی است. یکی از راه‌حل‌ها برای افزایش مقدار مواد آلی خاک، استفاده از کود آلی ورمی‌کمپوست است. ورمی‌کمپوست نوعی کمپوست تولیدشده به‌وسیله کرم خاکی است که در نتیجه تغییر و تبدیل و هضم نسبی بازمانده‌های آلی در ضمن عبور از دستگاه گوارشی این جانور به‌وجود می‌آید و منبع غنی از عناصر پرمصرف، کم‌مصرف، ویتامین‌ها، آنزیم‌ها و هورمون‌های محرک رشد گیاهی است. ازاین‌رو، استفاده از آن در کشاورزی، علاوه‌بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک، سبب رشد زیاد و سریع گیاهان نیز می‌شود (۳ و ۱۴).

کمالی و گلدانی (۹) در آزمایشی تحت شرایط تنش کم آبیاری، نشان دادند ورمی‌کمپوست باعث افزایش وزن خشک برگ و ساقه، تعداد گل و هدایت روزنه‌ای شد. گلدانی و همکاران (۷) در مطالعه تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و شاخص‌های رشد بیان داشتند پاسخ ویژگی‌های رشدی و عملکردی ریحان تخم شربتی به‌صورت چشمگیری تحت تأثیر مصرف ورمی‌کمپوست قرار گرفت، به‌طوری که با افزایش میزان آن علاوه‌بر شاخص‌های رشدی، عملکرد نیز افزایش یافت. رئیسی و همکاران (۱۵) در آزمایشی روی شاخص‌های رشدی و کیفی تحت تأثیر کودهای

آلی و شیمیایی، گزارش دادند مصرف ورمی‌کمپوست باعث افزایش شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و وزن خشک گیاه توتون شد. از آنجایی که بررسی شاخص‌های رشد و اطلاع از میزان مشارکت آنها در چگونگی رشد گیاهان زراعی لازمه دستیابی به عملکرد مطلوب است، بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر تنش خشکی، مقادیر کود ورمی‌کمپوست و همچنین برهمکنش آنها بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و ارتباط آن با عملکرد لوبیا سبز است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شرایط مزرعه‌ای و به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در تابستان سال زراعی ۱۳۹۵ در منطقه دزفول (با طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی) اجرا شد. تنش خشکی به‌صورت دور آبیاری در چهار سطح S0، S1، S2 و S3 (به‌ترتیب آبیاری پس از ۱۰۰، ۱۴۰، ۱۸۰ و ۲۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان فاکتور اصلی و مقادیر کود ورمی‌کمپوست در چهار سطح Vm0، Vm1، Vm2 و Vm3 (به‌ترتیب صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. هر کرت شامل هشت خط کشت به طول شش متر بود و مساحت هر کرت برابر ۴۳/۲ متر مربع برای همه تیمارها بود. بین کرت‌های فرعی دو خط و بین کرت‌های اصلی چهار خط بدون کشت به‌عنوان فاصله منظور شد. فاصله بین دو بلوک سه متر، فاصله بین دو بوته چهار سانتی‌متر، فاصله بین خطوط کشت ۹۰ سانتی‌متر بوده و کاشت بذر (رقم Delta-Seed تهیه شده از واحد توزیع نهاده‌های کشاورزی تعاون روستایی دزفول) به‌صورت دستی در اوایل شهریور ماه انجام شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دو دیسک عمود برهم و تسطیح (ماله‌کشی) بود. براساس نتایج تجزیه خاک آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول، خاک محل آزمایش در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری دارای بافتی سیلتی شنی با pH=۷/۶ ، EC=۰/۷ dS/m، ۴/۵ ppm نیتروژن قابل‌جذب، ppm ۴/۹ فسفر قابل‌جذب و ppm ۸۲ پتاسیم قابل‌جذب بود. عملیات داشت شامل اعمال تیمارهای تنش خشکی به‌صورت دور آبیاری و همچنین مبارزه با علف‌های هرز بود که به‌روش وجین دستی صورت گرفت.

به‌منظور سنجش کمّی رشد گیاه و سطح برگ در طول فصل رشد، نمونه‌برداری‌ها در هفت نوبت و از ۲۰ روز پس از کاشت تا ۸۰ روز پس از کاشت با فواصل هر ۱۰ روز یک‌بار از خطوط دو و هفت هر کرت، پس از حذف یک متر حاشیه از بالا و پایین هر خط کشت، سه بوته به‌طور تصادفی انتخاب و برداشت شد. ابتدا سطح برگ آنها به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل (DELTA-T) محاسبه شد و سپس شاخص سطح برگ با استفاده از رابطه LAI = LA/Ga که در آن LA سطح برگ اندازه‌گیری شده و Ga سطح زمینی که نمونه‌برداری صورت گرفت (۰/۲۵ مترمربع)، محاسبه شد (۱۱). برای به‌دست آوردن وزن خشک اندام‌های هوایی، نمونه‌ها در آون با دمای ۸۰-۷۵ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۷۲- ۴۸ ساعت در آزمایشگاه خشک و پس از اطمینان از عدم کاهش رطوبت (ثبات وزن)، وزن خشک نمونه‌ها در آزمایشگاه با ترازوی دقیق مشخص شد. برای ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، ابتدا از مقادیر وزن خشک اندام‌های هوایی به‌دست‌آمده در هربار نمونه‌برداری استفاده و به این ترتیب مؤلفه ماده خشک کل گیاه (Total dry matter) در طول دوره رشد تعیین شد. پس از آن رابطه ماده خشک کل گیاه نسبت به زمان (t) برازش داده و با انتخاب بهترین معادله رگرسیونی مشخص شد که تغییرات ماده خشک کل از یک تابع درجه دوم به‌صورت زیر پیروی می‌کند. برای کاهش وابستگی واریانس با میانگین از لگاریتم نپرین (Ln) استفاده شد و سپس با مشتق‌گیری از این تابع مقدار سرعت رشد نسبی (RGR) براورد شد و درنهایت با استفاده از معادلات زیر مقادیر سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت فتوسنتز خالص (NAR) و دوام سطح برگ (LAD) محاسبه شد (۲۱):

$$TDM = Exp(a + bt + ct2) \quad (gm\text{-}2) \quad [۱]$$

$$RGR = b + 2ct \quad (gg\text{-}1d\text{-}1) \quad [۲]$$

$$CGR = (b + 2ct)\exp(a + bt + ct2) \quad (gm\text{-}2d\text{-}1) \quad [۳]$$

$$NAR = CGR / LAI \quad (gm\text{-}2d\text{-}1) \quad [۴]$$

$$LAD = [(LAI1 - LAI2) / 2](t2 - t1) \quad (LAId\text{-}1) \quad [۵]$$

در معادلات فوق a، b و c ضرایب رگرسیونی و t زمان برحسب روز است.

برداشت برای براورد عملکرد غلاف سبز در اواخر آبان‌ماه زمانی صورت گرفت که غلاف‌ها سبز، جوان، آبدار و ترد بودند و قبل از اینکه رنگ غلاف‌ها از سبز به سفیدی تغییر می‌کرد و حالت تردی و شکنندگی خود را از دست می‌داد، پس از حذف یک متر از ابتدا وانتهای خطوط وسط برداشت به عمل آمد و پس از توزین، عملکرد غلاف سبز محاسبه شد (۱۱).

به منظور تجزیه واریانس صفات شاخص‌های فیزیولوژیک رشد گیاه، از مقادیر حداکثر آنها در طول فصل رشد استفاده شد. کلیه محاسبات آماری مربوط به تجزیه واریانس روی صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزارهای آماری MSTAT-C و SAS؛ مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن (سطح احتمال پنج درصد) و رسم نمودارها توسط برنامه Excel انجام شد. در ضمن، برای صفاتی که برهمکنش تیمارها در آنها معنی‌دار شد، برش‌دهی اثر متقابل نسبت به کرت اصلی انجام شد.

نتایج و بحث

ماده خشک کل

وزن خشک بوته در واحد سطح یکی از متغیرهای مهم در تحقیقات به‌زراعی است، زیرا بیانگر توان تولید گیاه در طول فصل رشد است. براساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، اثر اصلی سطوح تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر حداکثر ماده خشک کل در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری داشت درحالی که اثر متقابل بین تیمارهای تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر صفت مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۱). بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر ماده خشک کل حاکی از آن است که با افزایش زمان آبیاری، وزن خشک کل کاهش پیدا کرد، به‌طوری که بیشترین و کمترین صفت مذکور به‌ترتیب مربوط به تیمار تنش خشکی براساس تبخیر ۱۰۰ و ۲۲۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر کلاس A بود (جدول ۲). به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش وزن خشک در شرایط تنش خشکی، کاهش سطح فتوسنتزکننده برگ و متعاقب آن کاهش آماس سلولی باشد. از طرف دیگر، احتمالاً دلیل حداکثر وزن خشک در تیمار شاهد (آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر) تداوم رشد رویشی و درنتیجه تولید ماده خشک بیشتر باشد.

نخستین پاسخ گیاه به تنش خشکی متعاقب بسته شدن روزنه‌ها، کاهش رشد برگ‌ها و درنتیجه کاهش تولید اسیمیلات‌ها خواهد بود که درنهایت باعث کاهش وزن خشک کل گیاه می‌شود (۵ و ۱۶). مقایسه میانگین سطوح مختلف ورمی‌کمپوست نشان داد اثر ورمی‌کمپوست بر صفت ماده خشک کل مثبت بوده به‌طوری که با افزایش میزان آن وزن خشک کل گیاه نسبت به تیمار شاهد (بدون استفاده از ورمی‌کمپوست) افزایش قابل‌ملاحظه‌ای پیدا کرد (جدول ۲). افزایش تجمع ماده خشک در اثر مصرف کود ورمی‌کمپوست را می‌توان ناشی از تأثیر آن بر رشد رویشی و افزایش عملکرد دانست. افزایش ماده خشک در اثر استفاده از ورمی‌کمپوست در شرایط تنش می‌تواند مربوط به تأثیر آن برافزایش عناصر غذایی خاک و فراهم آوردن قابلیت جذب آنها توسط گیاه باشد (۹).

شاخص سطح برگ

برگ‌ها مهم‌ترین اندام فتوسنتزی گیاه هستند و برای درک ارتباط بین تشعشع و فتوسنتز و در نهایت تولید زیست‌توده، تغییرات شاخص سطح برگ مطرح می‌شود. همان‌طور که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود اثر تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر حداکثر صفت شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج حاصله نشان داد که بیشترین میزان شاخص سطح برگ مربوط به تیمار شاهد

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات حداکثر مقادیر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و عملکرد لوبیا سبز در سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست تحت تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)						
		ماده خشک کل	شاخص سطح برگ	سرعت رشد محصول	سرعت رشد نسبی	سرعت فتوسنتز خالص	دوام سطح برگ	عملکرد غلاف سبز
تکرار	۳	۹۱۳/۹۳۲	۰/۰۰۱	۱/۱۸۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۴	۳۰/۴۳۸	۱۰۰۴۱۶/۶۶۷
تنش خشکی (S)	۳	۱۷۵۳۸۱/۶۴۱**	۵/۵۹۸**	۱۰۳/۲۲۹**	۰/۰۳۵*	۰/۳۷۷*	۶۵۹۹/۳۹۶**	۲۴۴۰۹۱۶۶/۶۱۸**
خطای (a)	۹	۶/۹۸۸	۰/۰۲۱	۰/۴۶۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۴۳۸	۴۱۶/۶۱۲
ورمی‌کمپوست (Vm)	۳	۵۳۶۳۱/۶۵۲**	۸/۳۴۲**	۱۶۱/۶۸۸*	۰/۰۱۴ns	۰/۵۸۰*	۵۹۱۳/۸۵۴*	۱۶۳۹۱۲۵۰/۰۰۱**
ورمی‌کمپوست × تنش خشکی	۹	۱۳۹۹/۶۹۶ns	۰/۰۹۳ns	۱/۴۶۵ns	۰/۰۱۰ns	۰/۳۲۰ns	۷۸/۰۲۱ns	۸۶۸۰۵/۵۵۶**
خطای (b)	۳۶	۸/۷۲۴	۰/۰۰۵	۰/۲۸۵	۰/۰۳۱	۰/۰۱۲	۰/۲۲۹	۲۷۷/۷۱۸
درصد ضریب تغییرات (%CV)	درصد	۱۰/۶۹	۱۲/۸۳	۱۳/۴۷	۱۴/۲۳	۱۰/۵۴	۱۴/۳۶	۱۰/۲۹

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی‌دار

جدول ۲. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست بر حداکثر مقادیر شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد لوبیا سبز تحت تنش خشکی

شرح تیمار	ماده خشک کل (gm^{-2})	شاخص سطح برگ	سرعت رشد محصول ($gm^{-2}d^{-1}$)	سرعت رشد نسبی ($gg^{-1}d^{-1}$)	سرعت فتوسنتز خالص ($gm^{-2}d^{-1}$)	دوام سطح برگ ($LAId^{-1}$)
تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر از تشتک)						
S_0 = ۱۰۰	۵۴۸/۴۴^{a}	۴/۷۳^{a}	۲۴/۲۵^{a}	۰/۰۴۵^{b}	۵/۱۴^{b}	۱۵۸/۳۸^{a}
S_1 = ۱۴۰	۴۸۰/۰۰^{b}	۴/۲۸^{b}	۲۲/۶۳^{b}	۰/۰۵۳^{ab}	۵/۲۸^{a}	۱۳۸/۳۶^{b}
S_2 = ۱۸۰	۳۸۲/۵۰^{c}	۳/۸۱^{c}	۲۰/۵۹^{c}	۰/۰۶۸^{a}	۵/۴۱^{a}	۱۲۵/۰۰^{c}
S_3 = ۲۲۰	۳۱۱/۲۵^{d}	۳/۳۶^{d}	۱۸/۴۸^{d}	۰/۰۵۶^{ab}	۵/۵۳^{a}	۱۱۰/۶۳^{d}
ورمی‌کمپوست (تن در هکتار)						
Vm_0 = 0	۳۶۳/۱۲^{d}	۳/۲۳^{d}	۱۷/۹۶^{d}	۰/۰۶۱^{a}	۵/۵۷^{a}	۱۱۱/۸۲^{d}
Vm_1 = ۴	۴۰۷/۸۰^{c}	۳/۷۸^{c}	۲۰/۲۷^{c}	۰/۰۵۵^{a}	۵/۳۵^{a}	۱۲۵/۸۰^{c}
Vm_2 = ۸	۴۹۷/۵۲^{a}	۴/۲۶^{b}	۲۲/۲۵^{b}	۰/۰۵۲^{a}	۵/۲۶^{ab}	۱۳۷/۵۱^{b}
Vm_3 = ۱۲	۴۵۳/۷۵^{b}	۴/۹۱^{a}	۲۵/۴۷^{a}	۰/۰۵۴^{a}	۵/۱۸^{b}	۱۵۷/۲۴^{a}

در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن (سطح احتمال پنج درصد) اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

(آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر) بود و اعمال تنش خشکی موجب کاهش صفت مذکور شد. به نظر می رسد در شرایط تنش خشکی، گیاه با کاهش سطح برگ از سطح تعرق کننده می‌کاهد و به همین دلیل شاخص سطح برگ در این شرایط کاهش یافته است. ولی در شرایط بدون تنش، دسترسی بهتر به آب و مواد غذایی کافی موجب افزایش سطح برگ و گستردگی سایه‌انداز در گیاه می‌شود، لذا شاخص سطح برگ بالاتری به‌دست می‌آید (۱۸). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد هر سطح از مصرف کود ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ نسبت به تیمار عدم مصرف آن (تیمار شاهد) شد. به‌طوری که بیشترین شاخص سطح برگ (۴/۹۱) بین این تیمارها، مربوط به مصرف ۱۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار بود. افزایش شاخص سطح برگ در سطوح بالاتر ورمی‌کمپوست، احتمالاً به‌دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف باشد که باعث افزایش تعداد، اندازه و طول عمر برگ‌ها شده است (۱۵).

سرعت رشد محصول

سرعت رشد محصول به بهترین شکل مفهوم رشد را مشخص ساخته و اثر متقابل تنفس و فتوسنتز را نشان می‌دهد. نتایج آزمایش نشان داد که بین اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی و کود ورمی‌کمپوست ازنظر حداکثر سرعت رشد محصول تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین تیمارها مشخص کرد با افزایش زمان آبیاری و درنتیجه تنش بیشتر خشکی، مقدار سرعت رشد محصول به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافت (جدول ۲). افزایش مصرف آب توسط گیاه باعث کاهش رطوبت موجود در خاک و القای تنش خشکی در گیاه شده و در نهایت تشدید فرایندهای مربوط به مقابله با تنش خشکی را موجب می‌شود. نتیجه این شرایط اختلال در فرایندهای طبیعی گیاه برای تولید اسیمیلات و در نهایت کاهش سرعت رشد محصول است (۱۵ و ۱۸). همچنین در این پژوهش مصرف ورمی‌کمپوست اثر معنی‌داری بر صفت سرعت رشد گیاه داشت به‌طوری که بیشترین و کمترین صفت مذکور به‌ترتیب مربوط به تیمار کاربرد ۱۲ تن در هکتار ورمی‌کمپوست (۲۵/۴۷ گرم بر مترمربع در روز) و تیمار شاهد (۱۷/۹۶ گرم بر مترمربع در روز) به‌دست آمد (جدول ۲). ورمی‌کمپوست از طریق قدرت زیاد جذب آب و فراهمی مطلوب عناصر غذایی و همچنین نمک محلول کمتر، ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان اسید هیومیک بیشتر روی میزان فتوسنتز و تولید زیست‌توده تأثیر مثبت گذاشته و موجب بهبود سرعت رشد گیاه می‌شود (۷).

سرعت رشد نسبی

سرعت رشد نسبی بیان‌کننده وزن خشک اضافه‌شده نسبت به وزن اولیه در یک‌فاصله زمانی است و با تغییر وضعیت فتوسنتز و تنفس گیاه تغییر می‌کند. نتایج نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی بر سرعت رشد نسبی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که نتایج مربوط به اثر اصلی ورمی‌کمپوست و برهمکنش تیمارهای تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر صفت مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین و کمترین صفت مذکور به‌ترتیب مربوط به تیمار آبیاری پس از ۲۲۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A بود (جدول ۲). سرعت رشد نسبی بعد از مرحله جوانه‌زنی بالا رفته و سپس با افزایش سن گیاه میزان آن کاهش می‌یابد، زیرا بخش‌هایی که به گیاه افزوده می‌شوند بافت‌های ساختمانی هستند که از لحاظ متابولیکی فعال نبوده و نقشی در فتوسنتز ندارند. هرچند که مقدار وزن خشک گیاه با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند اما از سرعت رشد نسبی به‌دلیل افزایش نسبت بافت‌های ساختمانی به بافت‌های در حال رشد کاسته می‌شود. منفی شدن RGR در مراحل پایانی رشد نشان‌دهنده کاهش شدید سرعت رشد نسبی و در واقع کاهش وزن خشک گیاه است. RGR تنش خشکی در تمامی طول رشد بعد از افزایش در مرحله جوانه‌زنی تا آخر فصل رشد کاهش پیداکرده و هرچقدر تنش خشکی شدیدتر می‌شود،

سرعت نزول سرعت رشد نسبی بیشتر می‌شود (۴ و ۶).

سرعت فتوسنتز خالص

سرعت فتوسنتز خالص یا اسیمیلاسیون خالص بیانگر این است که هر واحد سطح برگ چقدر ماده فتوسنتزی در روز تولید می‌کند و درواقع راندمان و کارایی فتوسنتز را بیان می‌کند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تیمارهای تنش خشکی و ورمی‌کمپوست تأثیر معنی‌داری بر حداکثر سرعت فتوسنتز خالص گیاه در سطح احتمال پنج درصد داشت ولی اثر متقابل بین این تیمارها معنی‌دار نبود (جدول ۱). میزان تغییرات اسیمیلاسیون خالص در سطوح مختلف تنش خشکی دارای روند نزولی بود و با مسن شدن بوته‌ها بالاترین جذب خالص در تیمار تنش آبیاری پس از ۲۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به‌دست آمد (جدول ۲). چنین به نظر می‌رسد کاهش سطح برگ و کاهش سایه‌اندازی و رقابت کمتر برای جذب نور نسبت به تیمار شاهد، به‌رغم کاهش تولید اسیمیلات در گیاه، مانع از افت سریع NAR در تیمار تنش خشکی شده است (۹).

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد بین سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری در سرعت فتوسنتز خالص وجود داشت به‌طوری که بیشترین و کمترین میزان صفت مذکور به‌ترتیب در تیمارهای شاهد (۵/۵۷ گرم بر مترمربع در روز) و مصرف ۱۲ تن کود ورمی‌کمپوست در هکتار (۵/۱۸ گرم بر مترمربع در روز) حاصل شد (جدول ۲). کمتر بودن میزان جذب خالص در تیمارهای مصرف ورمی‌کمپوست احتمالاً به‌علت وجود شاخص سطح برگ بیشتر در این تیمارها و در نتیجه سایه‌اندازی بیشتر برگ‌ها روی یکدیگر و درنهایت کاهش میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ بوده است (۷).

دوام سطح برگ

دوام سطح برگ به‌عنوان معیاری از اندازه منبع، تأثیر زیادی بر عملکرد دارد و مشخص‌کننده میزان نور دریافتی در طول دوره رشد گیاه است. همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر حداکثر دوام سطح برگ معنی‌دار ولی اثرات متقابل این تیمارها بر صفت مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد که با افزایش تنش خشکی، دوام سطح برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲). در واقع گیاه در شرایط تنش خشکی نمی‌تواند شاخص سطح برگ خود را برای مدت طولانی حفظ کند و به همین علت دوام سطح برگ کاهش می‌یابد (۱۶). تیمارهای سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست نیز ازلحاظ صفت دوام سطح برگ تفاوت قابل‌توجهی باهم داشتند به‌طوری که هر سه تیمار مصرف کود مذکور نسبت به تیمار شاهد، توانستند این شاخص را بهبود بخشند (جدول ۲). به نظر می‌رسد چون آزادسازی عناصر غذایی از این منبع کودی به‌تدریج انجام می‌شود، کارایی عناصر غذایی افزایش‌یافته و قابلیت گیاه برای جذب عناصر و درنتیجه رشد گیاه ازجمله رشد برگی و دوام سطح برگ نیز افزایش نشان می‌دهد (۱۹). افزایش دوام سطح برگ در تیمار مصرف ورمی‌کمپوست، با به تعویق انداختن پیری در برگ‌ها در ارتباط است، زیرا فرایند پیری از نظر بیوشیمیایی، کاهش در میزان پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل در اندام‌ها به‌خصوص در برگ‌ها است (۱۴).

عملکرد غلاف سبز

نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثر سطوح مختلف تنش خشکی، ورمی‌کمپوست و اثر متقابل بین آنها بر عملکرد غلاف سبز در واحد سطح در جدول (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر اصلی تنش خشکی، ورمی‌کمپوست و اثر متقابل آنها بر صفت مذکور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج برش‌دهی اثرات متقابل تیمار ورمی‌کمپوست در هر سطح تنش خشکی نشان داد که در تمامی سطوح تنش خشکی، بین ترکیبات مختلف کود ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری از نظر صفت عملکرد غلاف سبز در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳).

جدول ۳. برش‌دهی اثرات متقابل ورمی‌کمپوست در هر سطح تنش خشکی روی عملکرد غلاف سبز

سطوح تنش خشکی	درجه آزادی	میانگین مربعات
۱۰۰	۳	۲۱۲۰۵۱۶/۰۱۸**
۱۴۰	۳	۴۰۰۶۲۱۱/۶۱۰**
۱۸۰	۳	۴۸۵۱۰۶۲/۰۱۵**
۲۲۰	۳	۵۴۴۳۲۶۷/۴۱۴**

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

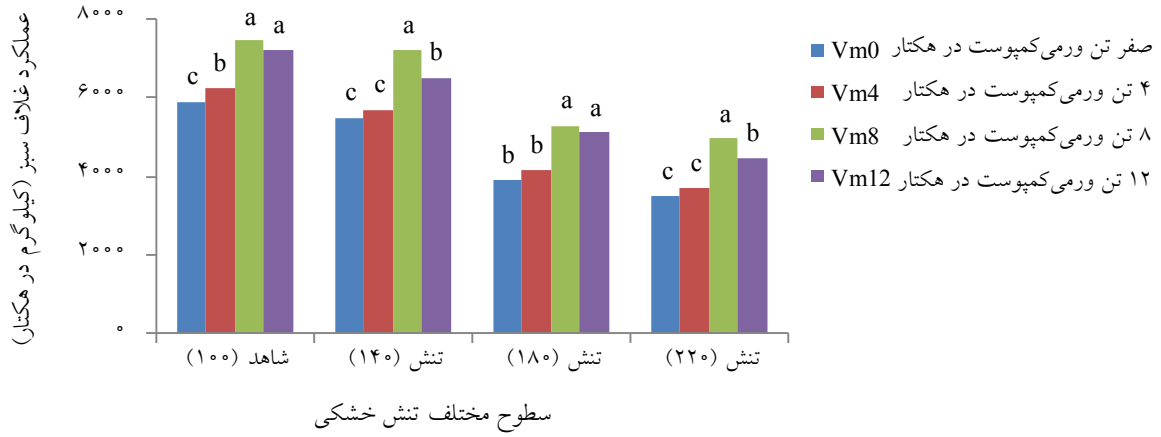
مقایسه میانگین سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست در هر سطح تنش خشکی مشخص کرد که بیشترین عملکرد غلاف سبز به میزان ۷۴۳۰ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمار شاهد (آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس‌A) با کاربرد هشت تن ورمی‌کمپوست در هکتار بود. از سوی دیگر کمترین عملکرد غلاف سبز مربوط به سطح تنش خشکی شدید (آبیاری پس از ۲۲۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس‌A) به‌میزان ۳۵۰۰ کیلوگرم در هکتار، بدون کاربرد کود ورمی‌کمپوست (تیمار شاهد) به‌دست آمد (شکل ۱). بنابراین، نتایج این آزمایش بیانگر آن است که در شرایط تنش خشکی افزایش عملکرد غلاف سبز گیاه لوبیا در تیمارهای ورمی‌کمپوست، می‌تواند ناشی از بهبود بیشتر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و اجزای عملکرد در این تیمارها باشد (۹ و ۱۷).

همان‌گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، شیب کاهش عملکرد در سطوح مختلف تنش خشکی در تیمار مصرف ورمی‌کمپوست نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف ورمی‌کمپوست) کمتر بود. به نظر می‌رسد افزایش مصرف ورمی‌کمپوست در محیط ریشه شرایط را برای جذب آب و عناصر غذایی بیشتر مهیا کرده و در این شرایط به‌دلیل جذب بیشتر و کارآمدتر آب و عناصر معدنی مورد نیاز، تحمل به تنش در گیاه بهبود یافته است (۲). بنابراین در تیمارهای کاربرد ورمی‌کمپوست، وجود عناصر معدنی بسیار فراوان در محیط کشت گیاه، می‌تواند اثرات نامطلوب تنش خشکی را کاهش داده و متعاقب آن، سرعت جذب نیتروژن را برای افزایش عملکرد غلاف سبز بالا برده و شیب کاهش عملکرد به‌خصوص در سطوح بالای تنش، ملایم‌تر شود (۳ و ۴).

همبستگی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد با عملکرد غلاف سبز

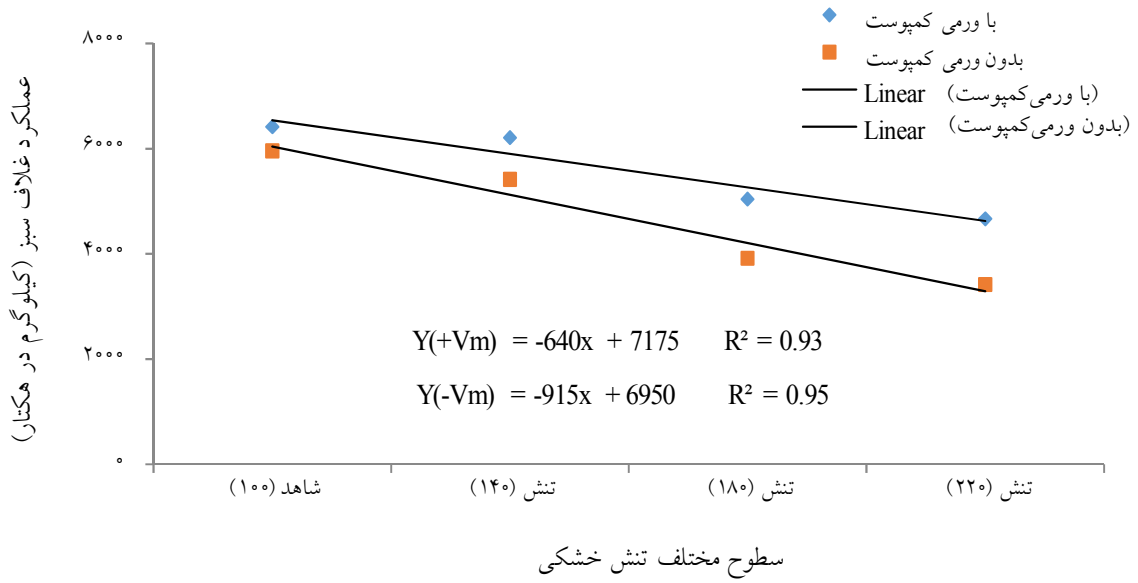
شاخص‌های فیزیولوژیک رشد موردمطالعه در این آزمایش، همبستگی مختلفی با عملکرد غلاف سبز نشان دادند (جدول ۴). همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بالاترین همبستگی با عملکرد مذکور، به ماده خشک کل گیاه (r =۰/۹۷**) و سپس به شاخص سطح برگ (r =۰/۸۹**) و پایین‌ترین آنها به میزان سرعت رشد نسبی (r = -۰/۲۷) تعلق داشت. پس از LAI، سرعت رشد گیاه (CGR) همبستگی بالایی با عملکرد دانه نشان داد (r =۰/۸۵**). همبستگی بین حداکثر شاخص سطح برگ و عملکرد، مبین این واقعیت است که CGR بالاتر می‌تواند به مقادیر LAI بالاتر نسبت داده شود. میزان رشد نسبی بالاتر در طول رشد رویشی، منجر به سرعت رشد بیشتر محصول در طول مرحله گل‌دهی می‌شود و درنتیجه، بالا بودن CGR در طول این دوره، موجب افزایش تجمع ماده خشک شده و درنهایت میزان عملکرد در واحد سطح را بالا می‌برد (۱۳ و ۱۵).

همچنین در این تحقیق، دوام سطح برگ (LAD) و CGR به‌ترتیب با (r =۰/۹۱**) و (r =۰/۷۶**) بیشترین همبستگی با وزن خشک کل (TDM) را داشتند. همبستگی بسیار معنی‌دار LAD با TDM به‌دلیل ماندگاری بیشتر فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها و مدت‌زمان بیشتر دریافت انرژی خورشیدی توسط آنها بوده است، زیرا بیشتر بودن دوام سطح برگ طی دوره نزولی



شکل ۱. مقایسه میانگین سطوح مختلف ورمی‌کمپوست در هر سطح تنش خشکی بر عملکرد غلاف سبز.

در هر سطح تنش خشکی میانگین‌های (ستون‌های) دارای حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.



شکل ۲. روند تغییرات میزان عملکرد تحت تأثیر مصرف و عدم مصرف ورمی‌کمپوست در شرایط مختلف تنش خشکی

جدول ۴. ماتریس ضرایب همبستگی بین شاخص‌های فیزیولوژیک رشد مورد مطالعه و عملکرد غلاف سبز

صفات	عملکرد غلاف سبز	TDM	LAI	CGR	RGR	NAR
وزن خشک کل گیاه (TDM)	۰/۹۷**					
شاخص سطح برگ (LAI)	۰/۸۹**	۰/۴۳*				
سرعت رشد محصول (CGR)	۰/۸۵**	۰/۷۶**	۰/۲۱			
سرعت رشد نسبی (RGR)	-۰/۲۷	-۰/۳۸	۰/۱۸	-۰/۱۲		
سرعت جذب خالص (NAR)	-۰/۱۶	-۰/۱۵	-۰/۵۹*	۰/۵۴*	-۰/۱۹	
دوام سطح برگ (LAD)	۰/۷۹**	۰/۹۱**	۰/۶۸**	۰/۲۷	-۰/۱۶	-۰/۳۴

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

شاخص سطح برگ معیاری از سطح برگ برای انجام فتوسنتز طی دوره پر شدن دانه‌ها است، بنابراین حداکثر LAD طی دوره نزولی می‌تواند برای مقایسه قدرت تولیدی گیاه در شرایط مختلف باشد (۴ و ۷). RGR همبستگی منفی و غیر معنی‌داری با TDM داشت (۱).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد اثر مثبت کاربرد ورمی‌کمپوست بر شیب تغییرات میزان عملکرد در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش (مطلوب) بیشتر بود، به‌طوری‌که میانگین افزایش عملکرد تیمارهای کاربرد ورمی‌کمپوست نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف آن) در شرایط مطلوب حدود ۱۶ درصد و در شرایط تنش حدود ۲۱ درصد بود. بنابراین، احتمالاً ورمی‌کمپوست شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشیده و با افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، گیاه کمتر با خشکی مواجه شده و در این شرایط باعث بهبود عملکرد لوبیا سبز شده است. همچنین با توجه به همبستگی مثبت و بالای TDM، LAI و CGR با عملکرد، می‌توان نتیجه گرفت که بخش عمده‌ای از افزایش صفت عملکرد در شرایط تنش خشکی، ناشی از بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک ذکرشده به‌وسیله کاربرد کود ورمی‌کمپوست بوده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود به‌منظور تعدیل اثرات تنش خشکی در زراعت لوبیا سبز، از میزان مناسب کود آلی ورمی‌کمپوست در مناطقی که مشکل کمبود آب خاک وجود دارد، استفاده شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است که با همکاری و حمایت‌های مالی معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه پیام نور استان خوزستان انجام شده که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

1. Ahmadpour, R. and S. R. Hosseinzadeh. 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.
2. Amir, K. and F. Ishaq. 2011. Chemical nutrient analysis of different composts (vermicompost and pitcompost) and their effect on the growth of a vegetative crop *Pisum sativum*. *Asian Journal of Plant Science and Research* 1(1): 116-130.
3. Azizi, E., F. Beheshti and H. Sepehri Moghaddam. 2015. The investigation of vermicompost organic fertilizer on some of physiological and qualitative traits of different varieties of *Calendula officinalis* L. under different levels of drought stress. *Electronic Journal Crop Production* 8(2): 171-194. (In Farsi).
4. Basimfar, R., M. Nasri and K. Zargari. 2016. Effect of sea alga extract and vermicompost on yield and plant growth indices of mung bean. *Journal of Crop Production Research* 8(1): 55-70. (In Farsi).
5. Beyk Khurmizi, A., A. Ganjeali, P. Abrishamchi and M. Parsa. 2012. Effect of vermicompost on photosynthesis and transpiration rate and water use efficiency of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. *Agro ecology* 4(3): 223-234. (In Farsi).
6. Fizabadi, M., Z. Ghahremani, T. Barzegar and A. Golchin. 2016. Effect of different levels of vermicompost and nitrogen on the growth parameters of tomato seedlings. *Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture)* 18(3): 569-580. (In Farsi).
7. Goldani, M., M. Kamali, S. Mohtashami and A. Ghani. 2016. Effect of different vermicompost levels on morphophysiological traist and growth charachtristics of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)* 30(3): 237-365. (In Farsi).
8. Kafi, M., E. Zand, B. Kamkar, A. Mahdavi Damghani and F. Abbasi. 2010. Plant Physiology. Mashhad Jehad Daneshgahi Press, Mashhad. (In Farsi).
9. Kamali, M. and M. Goldani. 2016. Effect of organic fertilizers on growth and flowering indices of Petunia hybrida under deficit irrigation. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 7(3): 139-153. (In Farsi).
10. Koocheki, A. and G. Sarmadnia. 2011. Physiology of Crop Plants. Mashhad Jehad Daneshgahi Press, Mashhad. (In Farsi).
11. Lack, SH., M. Kermanshahi and H. Noryani. 2016. Variation trend of leaf area index, yield and yield components of green beans (*Phaseolous vulgaris* L.) by using zinc sulfate and nitrogen. *Journal of Crop*

Ecophysiology 9(4): 599-610. (In Farsi).
12. Majnoun Hosseini, N. 2015. Grain Legume Production. Tehran Jehad Daneshgahi Press, Tehran. (In Farsi).
13. Munoz-Perea, C. G., H. Teran, H., R. G. Allen, J. I. Wright, D. T. Westermann and S. P. Singh. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Sciences* 46: 2111-2120.
14. Prabha, M. L., I. J. Jayraaj, R. Jayraaj and D. S. Rao. 2007. Effect of vermicompost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences* 9: 321-326.
15. Reisi, Z., M. R. Tadayyon and S. Fallah. 2017. Effects of chemical and organic fertilizers on some of growth and quality indices of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)* 40(1): 15-28. (In Farsi).
16. Saeidi Aboueshaghi, R., A. R.Yadavi, M. Movahhedi Dehnavi, H. R. Baluchi. 2013. Effect of irrigation intervals and foliar application of iron and zinc on some physiological and morphological characteristics of red bean (*Phaseolous vulgaris* L.). *Journal of Plant Process and Function* 3(7): 27-41. (In Farsi).
17. Sharifi, P., N. Karbalavi and H. Aminpanah. 2013. Effects of drought stress and potassium sulfate fertilizer on green bean yield. *Electronic Journal Crop Production* 6(4): 137-149. (In Farsi).
18. Tariq Al-Islami, M., R. Zarghami, M. Mashhadi Akbar Bojar and M. Ovissi. 2012. Effect of nitrogen fertilizer and water deficit stress on physiological indices of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agronomy and Plant Breeding* 8(1): 161-174. (In Farsi).
19. Warman, P. R. and M. J. Anglopez. 2010. Vermicompost derived from different feed stocks as a plant growth medium. *Bioresource Technology* 101: 4479-4483.
20. Yano, T., M. Aydin and T. Haraguchi. 2007. Impact of climate change on irrigation demand and crop growth in a Mediterranean environment of Turkey. *Sensors* 7(10): 2297-2315.
21. Wallace, D. H., J. L. Ozbum and H. M. Munger. 1972. Physiological genetics of crop yield. *Advance in Agronomy* 24: 97-146.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 8, No. 4, Winter 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Drought Stress and Vermicompost Amendment on Some Physiological Growth Indices and Yield of Green Bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

H. Nouriyani[1*]

(Received: August 25-2017; Accepted: April 10-2018)

Abstract

In order to study the physiological growth indices and yield of green bean in response to vermicompost amendment under drought stress conditions a field experiment was conducted in Dezful, southwest of Iran during 2016 using a split plot design in a randomized complete block design with four replications. Application of drought stress by irrigation interval method at four levels of irrigation (irrigation after 100, 140, 180 and 220 mm evaporation from class A evaporation pan) as the main factor and 0, 4, 8 and 12 tons ha^{-1} of vermicompost were considered as a sub factor. With intensifying drought stress from 140 to 220 mm evaporation from the evaporation pan, maximum values of dry matter of the plant, leaf area index, plant growth rate and durability of the leaf area significantly decreased. Except for the relative growth rate which was less affected by vermicompost, increasing the application of vermicompost from 4 to 12 tons ha^{-1} caused a great increase in the remaining physiological growth indices compared to control treatment. Interaction of drought stress and vermicompost on all traits was not significant except for green pod yield. The vermicompost – related increase in yield of green bean in drought stress conditions (21%) was higher than the increase in favorable conditions (16%). The highest and lowest correlations with yield were related to dry matter of the plant ($r=0.97^{**}$) and relative growth rate ($r=-0.27$). In general, the results showed that vermicompost application under stress and non-stress conditions improved the physiological growth indices and hence the yield of the green pod and could be recommended for green bean production in the area.

Keywords: Drought Stress, Leaf area, Green Pod, Dry matter, Correlation

1. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Payame Noor University, Tehran, I.R. of IRAN
*: Corresponding Author, Email: h_noryani@yahoo.com