[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5]

[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367]

اثر میکورایز آربوسکولار و برادی‌رایزوبیوم بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد سویا در شرایط تنش رطوبتی

محمدعلی ابوطالبیان[1*]، گودرز احمدوند[2] و محبوبه خلیلی[3]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۵/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۲۷)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد رقم M9 سویا تحت شرایط تنش رطوبتی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینای همدان در بهار سال ۱۳۹۱ اجرا گردید. در کرت‌های اصلی سه سطح آبیاری شامل ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و در کرت‌های فرعی کود بیولوژیک در چهار سطح (تلقیح بذرها با برادی‌رایزوبیوم جاپونیکوم، کاربرد میکورایز آربوسکولار، تلقیح و کاربرد هم‌زمان هر دو کود زیستی و عدم استفاده از کودهای زیستی) بودند. نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش رطوبت تمامی شاخص‌های رشد اندازه‌گیری شده به‌ویژه حداکثر سرعت رشد محصول، حداکثر مادهٔ خشک کل و دوام مادهٔ خشک کل کاهش یافتند. میزان کاهش سه شاخص مذکور در حالت تنش شدید رطوبت در مقایسه با شرایط عدم تنش به‌ترتیب ۶۳، ۵۰/۸ و ۴۷/۶ درصد بود. کاربرد کودهای زیستی به‌خصوص میکورایز در حالت عدم تنش عموماً سبب کاهش شاخص‌های اندازه‌گیری شده گردید، اما در شرایط تنش شدید رطوبتی آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر، کاربرد هم‌زمان هر دو کود زیستی در مقایسه با تیمار عدم مصرف کودهای زیستی، منجر به افزایش قابل توجه بیشتر شاخص‌های رشد از جمله حداکثر سرعت رشد محصول، حداکثر شاخص سطح برگ و دوام مادهٔ خشک کل به‌ترتیب به‌میزان ۵۰، ۲۸/۶ و ۴۵/۸ درصد گردید.

واژه‌های کلیدی: تنش آب، شاخص رشد، کود زیستی

۱، ۲ و ۳. به‌ترتیب استادیار، دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: aboutalebian@yahoo.com

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5]

[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367]

مقدمه

سویا (*Glycin max* L.) گیاهی است از خانوادهٔ بقولات که بالاترین سطح زیر کشت و تولید دانهٔ روغنی و پروتئینی را در جهان به‌خود اختصاص داده است. کشت این گیاه از سال ۱۳۴۶ به‌عنوان دانهٔ روغنی در بخش‌هایی از ایران مورد توجه قرار گرفته است (۹). تنش رطوبتی عامل اصلی کاهش رشد گیاهان در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. خسارت خشکی در این مناطق سالانه به میلیون‌ها دلار می‌رسد. ایران در منطقهٔ خشک و نیمه‌خشک قرار دارد، بنابراین توجه به مسأله تنش رطوبتی از اهمیت زیادی برخوردار است (۸). کمبود آب در بسیاری از مراحل نموی سویا عملکرد را کاهش می‌دهد (۱۲ و ۱۵). در اثر افزایش شدت تنش سرعت تولید مادهٔ خشک در گیاه کاهش می‌یابد (۲۰ و ۳۳). از روش‌های مؤثر مدیریت زراعی برای مقابله با خشکی کمک به گسترش بیشتر ریشه و هم‌چنین افزایش حاصلخیزی خاک است تا ضمن جذب بیشتر رطوبت خاک کارایی مصرف آب نیز توسط گیاه افزایش یابد (۳۲).

آنالیز رشد که از طریق اندازه‌گیری مادهٔ خشک و سطح برگ در طی فصل رشد در فواصل زمانی معین به‌دست می آید، روشی جهت مطالعه چگونگی انباشت و انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های مختلف گیاه می‌باشد. موچو (۲۴) گزارش کرد که وقوع تنش رطوبتی از زمان استقرار گیاهچه و ادامه یافتن آن تا زمان بلوغ لگوم‌های دانه‌ای مختلف از جمله سویا باعث کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی و مقدار مادهٔ خشک اندام‌های هوایی می‌شود. تنش رطوبتی طی دورهٔ زایشی در گیاه سویا، وزن خشک برگ را کاهش می‌دهد، علت این امر را می‌توان به کاهش آسمیلاسیون کربن نسبت داد (۸). در تحقیقی نیز روی سویا گزارش شد که میزان شاخص سطح برگ، جذب نور خورشید و مادهٔ خشک کل با افزایش فواصل زمانی آبیاری کاهش یافت (۱۰). سرعت رشد گیاه و ثبات آن نیز تعیین کننده مقدار مادهٔ خشک تولیدی بوده و کل مادهٔ خشک تولیدی معیاری از پتانسیل عملکرد است (۱۷). بسته شدن روزنه‌ها در اثر تنش رطوبتی تبادل دی‌اکسید کربن را در برگ‌ها کاهش می‌دهد که در نتیجه کاهش فتوسنتز، سطح برگ، تولید بیوماس، اندازه و تعداد دانه را در پی دارد (۲۰ و ۲۴). بنابراین تنش رطوبتی و عوارض ناشی از آن باعث کاهش عملکرد می‌گردد (۳۰). دی‌کوستا و شانموگاتاسان (۱۰) تنش رطوبتی را در مرحلهٔ گل‌دهی تا شروع پُر شدن دانه در نوعی رقم رشد محدود سویا به‌علت کاهش سرعت رشد وکاهش تعداد دانه در شاخه اصلی، عامل کاهش عملکرد گزارش نمودند. ادوردو و همکاران (۱۱) نیز کاهش رشد رویشی شاخه‌ها و کاهش تعداد دانه در شاخه اصلی را عامل مهمی در کاهش عملکرد دانه سویا عنوان نموده‌اند.

با کاهش رطوبت قابل استفاده خاک، مقدار تثبیت نیتروژن کاهش یافته و ماده خشک کمتری تولید می‌شود، در این زمینه همبستگی مثبت بین رطوبت قابل دسترس خاک و مقدار تثبیت نیتروژن گزارش شده است (۲۸). بنابراین دست‌یابی به راهبردهایی برای کاهش اثر منفی تنش رطوبتی بر گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۳۱). استفاده از کودهای آلی و زیستی به‌عنوان یک مکمل خاک و عاملی که سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود، می‌تواند یکی از راه‌کارهای کاهش شدت تنش رطوبتی باشد (۱۲). بر این اساس، مایه‌زنی گیاهان با میکرواورگانیسم‌های همزیست با آنها هم‌چون قارچ میکورایز و باکتری‌های تثبیت کنندهٔ نیتروژن و باکتری‌های آزادزی که باعث تحریک رشد گیاه می‌شوند، می‌تواند سودمند باشد (۲، ۳، ۴، ۷ ، ۱۱ و ۱۸). برادی‌ریزوبیوم از باکترهای همزیست با گیاه سویا است که از این راه باعث تثبیت نیتروژن می‌شود. گزارش شده که بین گونه‌های ریزوبیوم و قارچ میکورایز رابطه سینرژیستی وجود دارد (۱ و ۳۲). استری نیواسا و همکاران (۳۱) گزارش کردند که قارچ‌های میکورایزی وزیکولار آربوسکولار در پیدایش گره به باکتری برادی‌ریزوبیوم ژاپونیکوم سویا کمک می‌کنند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد تلقیح بذر گیاهان زراعی با قارچ‌های میکورایز سبب افزایش شاخص سطح برگ (۴ و ۳۳)، سرعت

رشد محصول (۶ و ۳۳)، جذب خالص (۳۳) و وزن خشک کل (۶) گردیده است. از آنجا که کمبود رطوبت، گسترش ریشه و میزان تثبیت نیتروژن را محدود می‌کند (۳) در این پژوهش سعی شده است تا تأثیر کود زیستی قارچ میکورایز و مایهٔ تلقیح سویا به‌عنوان عواملی در افزایش توسعه ریشه، جذب رطوبت از خاک (۷ و ۲۴) و افزایش نیتروژن مورد نیاز گیاه (۲ و ۳۱) بر روی برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد سویا در شرایط کمبود رطوبت خاک، مورد بررسی قرار گیرد و از طریق تجزیه و تحلیل این شاخص‌ها بتوان عکس‌العمل گیاه نسبت به تیمارهای به‌کار رفته را مورد بررسی قرار داد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۱ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکده کشاورزی همدان انجام شد. مشخصات خاک مزرعه تحقیقاتی در جدول ۱ آورده شده است. منطقهٔ مورد آزمایش از نظر اقلیمی نیمه‌خشک و سرد با میانگین بارش سالیانه ۳۳۳ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۲۴ درجه سانتی‌گراد در گرم‌ترین ماه سال می‌باشد. در این مطالعه از رقم M9 سویا استفاده شد. این رقم رشد محدود بوده و در گروه رسیدگی زودرس قرار دارد و دارای دوره رشدی ۱۱۰ – ۱۰۰ روز می‌باشد.

عملیات خاک‌ورزی در بهار انجام شد و شامل یک شخم متوسط و دیسک بود. پیش از کاشت براساس آزمون خاک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات از منبع سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه از منبع اوره به‌کار برده شد. بذر و مایه تلقیح *Bradyrhizobium japonicum* از مرکز تحقیقات دانه‌های روغنی همدان و کود زیستی میکورایز آربوسکولار از نوع *Glomus mosseae* با ۱۵۰ اسپور قارچ در هر گرم، از شرکت زیست‌فناوران توران شاهرود با نام تجاری مایکوپرسیکا تهیه گردید. عملیات کاشت در ۱۳ خرداد با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع به‌صورت دستی انجام شد. در واحدهای آزمایشی متناسب با تیمارهای موجود بذور پیش از کاشت به مایه تلقیح برادی‌رایزوبیوم آغشته شدند. کود زیستی میکورایز نیز در زمان کاشت طبق توصیه شرکت تولید کننده به‌صورت خاک مصرف به‌میزان ۲۰ گرم در هر مترمربع زمین زراعی در تیمارهای مربوطه به‌صورت نواری در کنار خطوط کاشت مصرف گردید. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل تنش شامل ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A که به‌ترتیب به‌عنوان آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید رطوبتی در نظر گرفته شد، در کرت اصلی و عامل کود زیستی با چهار سطح شامل بدون کاربرد کود زیستی، کاربرد میکورایز، کاربرد مایه تلقیح سویا (برادی‌رایزوبیوم ژاپونیکوم) و کاربرد هم‌زمان هر دو نوع کود زیستی، در کرت فرعی قرار گرفت. هر واحد آزمایشی به طول ۵ متر با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و در ۶ خط کاشت در نظر گرفته شد و فاصله بین کرت‌های اصلی نیز حدود ۲ متر تنظیم شد. در این مطالعه واحدهای آزمایشی تا مرحله ۶ برگی به‌طور کامل آبیاری شدند تا استقرار بوته‌ها و شروع همزیستی میکورایز و برادی‌ریزوبیوم‌ها با گیاهان با موفقیت انجام گیرد و سپس اعمال تیمارهای تنش آغاز شد. آبیاری به‌صورت جوی‌وپشته انجام گردید و در طول دورهٔ رشد بارشی صورت نگرفت. کنترل علف‌های هرز نیز برحسب نیاز در طی دورهٔ رشد گیاه به‌صورت دستی صورت گرفت.

برای اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد، ۴۰ روز پس از کاشت با فاصله هر ۱۰ روز، از هریک از کرت‌های فرعی، ۵ بوته به‌طور تصادفی با رعایت اثر حاشیه از سطح خاک برداشت و سطح برگ و مادهٔ خشک آنها اندازه‌گیری گردید.

شاخص سطح برگ (LAI)، وزن خشک کل (TDM)، سرعت نسبی رشد (RGR)، سرعت جذب خالص (NAR)، سرعت رشد گیاه (CGR)، دوام شاخص سطح برگ (LAID) و دوام مادهٔ خشک کل (TDMD) به‌ترتیب براساس روابط ۱ تا ۷ محاسبه گردید (۳۳).

$$LAI = Exp\ (a' + b'\ x + c'\ x^2) \qquad (۱)$$

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367]

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5]

[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367]

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

رس	سیلت	شن	بافت خاک	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	نیتروژن کل	کربن آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته
	(٪)			(میلی‌گرم بر کیلوگرم)		(٪)		(دسی‌زیمنس بر متر)	
۳۵	۴۵	۲۰	لومی رسی	۸/۲	۲۲۰/۰	۰/۱۰	۰/۷۲	۰/۴	۷/۷

$$TDW = Exp\ (a + b\ x + c\ x^2) \quad (۲)$$

$$RGR = b + 2ct \quad (۳)$$

$$NAR = (b + 2cx)\ Exp\ [(a-a') + (b-b')\ x + (c-c')\ x^2] \quad (۴)$$

$$CGR = NAR \times LAI \quad (۵)$$

$$LAID = \Sigma\ [\ (LAI_s + LAI_{s+1})/2)(x_s - x_{s+1})\ ] \quad (۶)$$

$$TDMD = \Sigma\ [\ (TDM_s + TDM_{s+1})/2)(\ x_s - x_{s+1})\ ] \quad (۷)$$

a, b, c, a', b', c' ضرایب معادلات رگرسیون و x تعداد روز پس از کاشت می‌باشد. در روابط ۶ و ۷، s شمارهٔ مرحلهٔ نمونه‌برداری را که بین ۱ تا ۵ می‌باشد، نشان می‌دهد. هم‌چنین داده‌های مربوط به پیک منحنی‌های شاخص سطح برگ، وزن خشک کل و سرعت رشد گیاه آنالیز واریانس شدند. برای آنالیز واریانس سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص که پیک ندارند از داده‌های مربرط به روز هفتادم پس از کاشت، مصادف با پیک سرعت رشد گیاه استفاده شد.

در این تحقیق برای آنالیز و تجزیه واریانس داده‌ها از برنامه SAS و برای مقایسه میانگین نیز از روش حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید. هم‌چنین نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

مطابق جدول ۲ مشاهده می‌شود که تنش رطوبت، کود زیستی و اثر متقابل آنها روی حداکثر شاخص سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. با افزایش شدت تنش حداکثر شاخص سطح برگ کاهش یافت به‌طوری‌که در تنش‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر در مقایسه با عدم تنش (۵۰ میلی‌متر تبخیر) شاخص سطح برگ به‌ترتیب ۳ و ۳۶ درصد کاهش یافت. بالاترین مقادیر حداکثر شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری مطلوب و کاربرد هم‌زمان دو کود زیستی در شرایط تنش ملایم و شدید و کمترین میزان آن در تیمار عدم مصرف کود زیستی (شاهد) در شرایط تنش شدید به‌دست آمد (جدول ۳).

گزارش شده است که همزیستی بین قارچ میکورایز آربسکولار و ریشه‌های گیاه میزبان به‌میزان قابل توجهی رشد و جذب عناصر غذایی گیاه را افزایش می‌دهد (۳)، این قارچ‌ها با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب ریشه، کارایی گیاهان را در جذب آب و عناصر غذایی افزایش و موجب بهبود رشد آنها می‌شوند (۶). لیو و همکاران (۲۱) واکنش‌های مثبت ایجاد شده توسط همزیستی میکورایز آربسکولار را عامل افزایش جذب یون‌های کم‌تحرک خاک از قبیل فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گوگرد، آهن، روی، مس و منگنز معرفی کرده‌اند. از آنجایی که تحرک عناصر غذایی در شرایط تنش رطوبتی پایین می‌باشد (۱۵)، میکورایز آربسکولار می‌تواند تأثیر زیادی روی رشدونمو تمام اندام‌های گیاه در شرایط تنش رطوبتی نسبت به شرایط آبیاری نرمال داشته باشد (۴). هم‌چنین تغییر غلظت ترکیبات تنظیم کنندهٔ رشد همانند اکسین، سیتوکینین، جیبرلین و اتیلن در ریشه‌های تحت تأثیر میکروارگانیسم‌ها گزارش شده است (۱۳).

با دقت در جدول ۳ دیده می‌شود که در تنش شدید اثر میکورایز بر حداکثر شاخص سطح برگ بیشتر از اثر ریزوبیوم است، هرچند که این تفاوت معنی‌دار نشده است اما کاربرد هم‌زمان آنها به‌طور قابل توجهی این صفت را در تنش شدید

[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367] [DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های رشد اندازه‌گیری شده سویا

منابع تغییرات	درجه آزادی	سطح برگ	ماده خشک کل	سرعت جذب خالص	سرعت نسبی رشد	سرعت رشد محصول	دوام سطح برگ	دوام ماده خشک کل
تکرار	۲	۰/۱۵^{ns}	۹۱۴۱/۴۱^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۲^{ns}	۲۴/۱۲^{ns}	۸۷۳/۰۸^{ns}	۱۹۶۸۶۶/۵۵^{ns}
تنش	۲	۱۷/۸۰**	۱۹۸۳۸۳۸/۲**	۲۹/۱۴**	۰/۰۰۰۷**	۲۷۷۹/۳۲**	۴۳۴۵۰/۳۳**	۲۰۷۸۵۱۲۱/۱۳**
خطای اصلی	۴	۰/۲۶	۹۷۴۷/۸۳	۰/۳۵	۰/۰۰۰۰۰۵	۱۹/۲۸	۳۸۶/۱۷	۶۹۹۷۶/۹۷
کود زیستی	۳	۰/۶۶**	۲۹۲۹۸/۵۶*	۰/۱۰^{ns}	۰/۰۰۰۰۱*	۴۱/۱۵*	۳۲۹۲/۲۵**	۶۵۵۴۴۲/۰۷**
تنش × کود زیستی	۶	۱/۶۰**	۵۸۴۷۷/۱۴**	۰/۱۷^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۴**	۷۴/۸۳**	۳۳۵۷/۱۱**	۸۷۲۶۵۶/۴۲**
خطای فرعی	۱۸	۰/۰۶	۸۱۹۴	۰/۲۴	۰/۰۰۰۰۰۲	۱۱/۶۴	۲۷۰/۳۳	۴۵۸۴۴/۴۹
(٪) ضریب تغییرات		۴/۲۸	۷/۷۱	۷/۷۲	۳/۳۱	۹/۱۵	۶/۳۲	۵/۰۲

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

[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367] [DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش رطوبتی و کود زیستی بر شاخص‌های رشد سویا

میزان تبخیر (mm)	کود زیستی	حداکثر شاخص سطح برگ	حداکثر ماده خشک کل ($g\ m^{-2}$)	سرعت نسبی رشد در روز ۷۰ ($g\ g^{-1}\ day^{-1}$)	حداکثر سرعت رشد محصول ($g\ m^{-2}\ day^{-1}$)	دوام شاخص سطح برگ (LAI day)	دوام ماده خشک کل ($g\ m^{-2}\ day$)
۵۰	شاهد	۸/۹۹	۱۷۹۷/۴۷	۰/۰۴۴	۵۹/۲۲	۳۶۱/۳۳	۶۲۸۴/۹۸
	میکورایز	۶/۴۳	۱۳۹۱/۰۴	۰/۰۴۲	۴۳/۸۶	۲۶۸/۳۳	۴۷۸۵/۷۷
	رایزوبیوم	۶/۸۲	۱۵۱۱/۱۶	۰/۰۴۵	۴۹/۷۸	۲۷۹/۶۷	۵۲۷۵/۹۱
	میکورایز + رایزوبیوم	۷/۰۲۶	۱۵۳۸/۷۳	۰/۰۴۳	۴۹/۴۸	۳۰۸/۳۳	۵۶۸۳/۳۸
۱۰۰	شاهد	۶/۶۶	۱۱۷۶/۸۹	۰/۰۴	۳۵/۹۳	۲۵۴/۳۳	۳۸۳۸/۹۳
	میکورایز	۷/۱۲	۱۱۵۵/۶۷	۰/۰۳۷	۳۳/۵۷	۲۷۶/۰۰	۴۳۱۶/۶۲
	رایزوبیوم	۷/۰۴	۱۲۳۶/۱۸	۰/۰۳۸	۳۶/۲۸	۲۸۴/۳۳	۴۶۰۵/۶۹
	میکورایز + رایزوبیوم	۷/۶	۱۲۸۹/۶۸	۰/۰۳۷	۳۷/۰۸	۳۲۲/۳۳	۴۸۲۸/۲۶
۱۵۰	شاهد	۴/۲۹	۶۷۲/۱۲	۰/۰۲۹	۱۴/۷۷	۱۷۰/۳۳	۲۳۶۹/۶۴
	میکورایز	۴/۶۶	۷۸۳/۳۳	۰/۰۳۱	۱۹/۷۹	۱۹۹/۶۷	۳۰۱۷/۷۸
	رایزوبیوم	۴/۲۵	۷۰۸/۵	۰/۰۳۲	۱۸/۲۸	۱۶۸/۰۰	۲۶۹۹/۲۰
	میکورایز + رایزوبیوم	۵/۵۲	۹۰۲/۳۵	۰/۰۲۹	۲۲/۲۱	۲۲۸/۳۳	۳۴۵۵/۶۴
	LSD %5	۰/۵۷	۲۰۹/۸۶	۰/۰۰۲	۵/۵۶	۲۸/۴۹	۳۸۲/۹۴

رطوبتی به‌میزان ۲۸/۷ درصد نسبت به تیمار عدم کاربرد کود زیستی در همان سطح تنش، افزایش داده است (جدول ۳)، این اتفاق می‌تواند به اثر هم‌افزایی میکروارگانیسم‌ها بر یکدیگر تعبیر گردد (۱، ۳۱، ۳۲ و ۳۴). از آنجا که حداکثر شاخص سطح برگ همبستگی بالایی با حداکثر ماده خشک کل، دوام وزن خشک کل و دوام سطح برگ نشان داد (جدول ۴) لذا می‌توان نتیجه گرفت که بهبود شاخص سطح برگ تحت تأثیر کاربرد کودهای زیستی در تنش رطوبت سبب افزایش فتوسنتز می‌گردد.

تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد در شکل ۱ ملاحظه می‌شود. بررسی سطوح آبیاری نشان داد در اوایل دوره رشد تا حدود ۵۰ روز پس از کاشت، سطح برگ گیاه با سرعت آهسته افزایش یافت و پس از آن تا رسیدن به حداکثر با سرعت بیشتری افزایش یافت و بعد از آن شاخص سطح برگ کاهش یافت. توقف تولید برگ‌های جدید، پیری و زردی برگ‌ها از عوامل کاهش سطح برگ محسوب می‌شوند (۸). در تیمار بدون تنش بیشترین شاخص سطح برگ در ۸۰ روز پس از کاشت مشاهده شد (شکل ۱، الف) درصورتی‌که در تیمارهای تنش ملایم و شدید حداکثر شاخص سطح برگ در حدود ۷۰ روز پس از از کاشت رخ داد (شکل ۱، ب و ج) یعنی بروز تنش رطوبتی روند توسعه سطح برگ را کاهش می‌دهد (۸).

بین فرایندهای گیاهی، رشد برگ‌ها تأثیر شدیدی از شرایط آبی گیاه می‌پذیرد. کاهش جذب آب به‌دلیل کاهش رشد و فعالیت ریشه، کاسته شدن از مقدار و کارایی فتوسنتز در اثر کاهش تبادلات روزنه‌ای (۱۹) و کاهش میزان فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی (۲۷) از عوامل اثرگذار روی کاهش سطح برگ در شرایط رطوبتی هستند. هم‌چنین شاخص سطح برگ در شرایط آبیاری کامل بعد از حداکثر مقدار آن، با شدت بیشتری افت کرد (شکل ۱، الف). در این حالت به‌علت ایجاد پوشش گیاهی بسته‌تر نسبت به حالت تنش، نور کمتری به قسمت‌های پایینی جامعه گیاهی نفوذ کرده و می‌تواند سبب تسریع در پیری برگ‌ها گردد. با وجود اینکه در شرایط تنش خشکی برگ‌های کمتری تولید و حفظ شد (کمتر بودن شاخص سطح برگ در سراسر دوره رشد) ولی ممکن است در نتیجه داشتن پوشش گیاهی بازتر نسبت به حالت عدم تنش، نفوذ نور به داخل جامعه گیاهی به‌خوبی صورت گرفته و باعث حفظ برگ‌ها به‌مدت طولانی‌تر گردد (۲۶). بالاترین شاخص سطح برگ در تیمار تنش شدید متعلق به کاربرد توأم هر دو کود زیستی بوده است (شکل ۱، ج).

ماده خشک کل

اثرات اصلی و متقابل عامل‌های تنش رطوبتی و کود زیستی بر حداکثر ماده خشک کل در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که در شرایط عدم تنش رطوبت، کاربرد کودهای زیستی به‌ویژه میکورایز سبب کاهش ۲۲/۶ درصدی حداکثر ماده خشک گردید اما در شرایط تنش شدید رطوبتی این روند معکوس شد به‌گونه‌ای که کاربرد هم‌زمان میکورایز و رایزوبیوم حداکثر مادهٔ خشک را ۳۴ درصد نسبت به حالت عدم کاربرد کود زیستی افزایش داد (جدول ۳ و شکل ۲) که با نتایج مربوط به شاخص سطح برگ هماهنگی دارد. به‌نظر می‌رسد در شرایط عدم تنش رطوبت میکروارگانیسم‌های همزیست به‌ویژه قارچ میکورایز بیش از آنکه مفید باشند بر سر دریافت مواد فتوسنتزی با خود گیاه زراعی رقابت می کنند (۲ و ۱۸). وجود رابطهٔ هم‌افزایی بین قارچ میکورایز آربوسکولار و برادی‌رایزوبیوم ژاپونیکوم در حالت کمبود رطوبت خاک این رخ داد را توجیه می‌کند.

از آنجایی‌که تحرک عناصر غذایی در شرایط تنش رطوبتی پایین می‌باشد، میکورایز آربسکولار می تواند تأثیر زیادی روی رشدونمو تمام اندام‌های گیاه در شرایط تنش رطوبتی نسبت به شرایط آبیاری نرمال داشته باشد (۲ و ۴). در آزمایشی مشخص شده است تلقیح توأم ریزبیوم، قارچ میکورایز و ریزوباکتری‌های حل کنندهٔ فسفات در ریزوسفر یونجه باعث افزایش جذب فسفر و نیتروژن در این گیاه گردید (۳۲). در گزارشی دیگر مایه‌زنی بذرهای سویا با سودوموناس و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367]

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

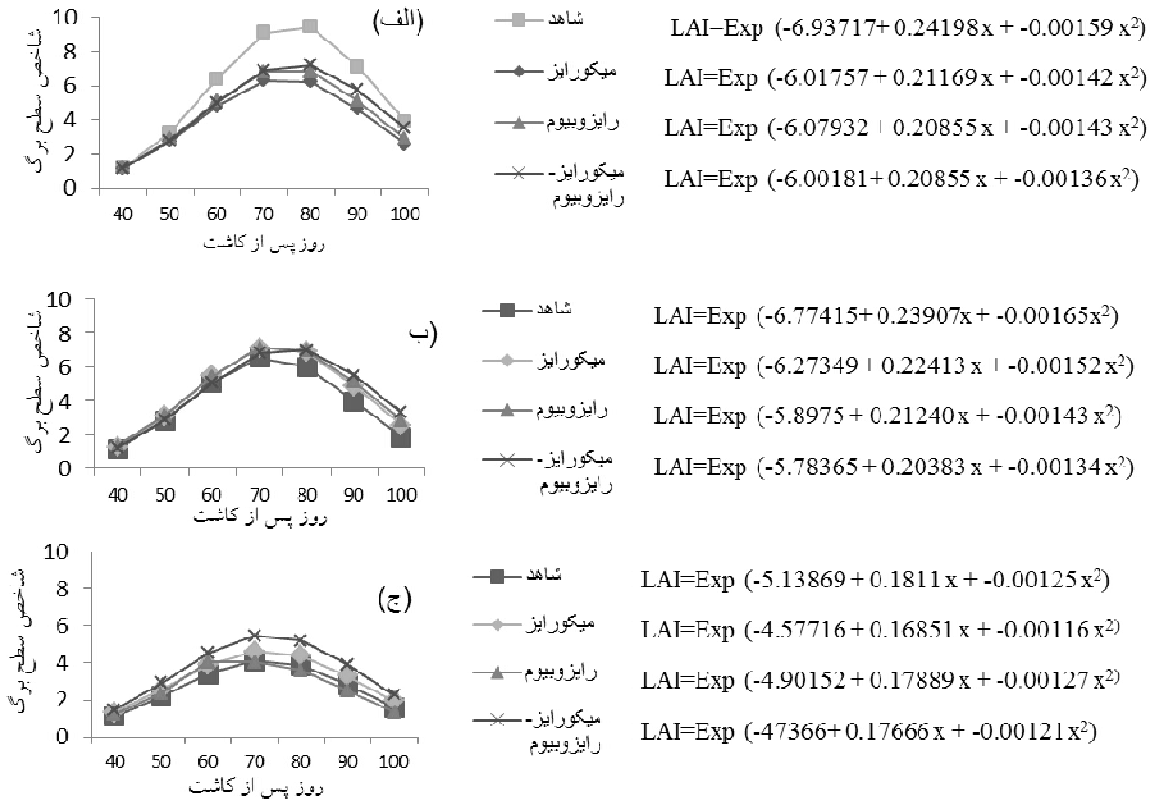
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5]

[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367]

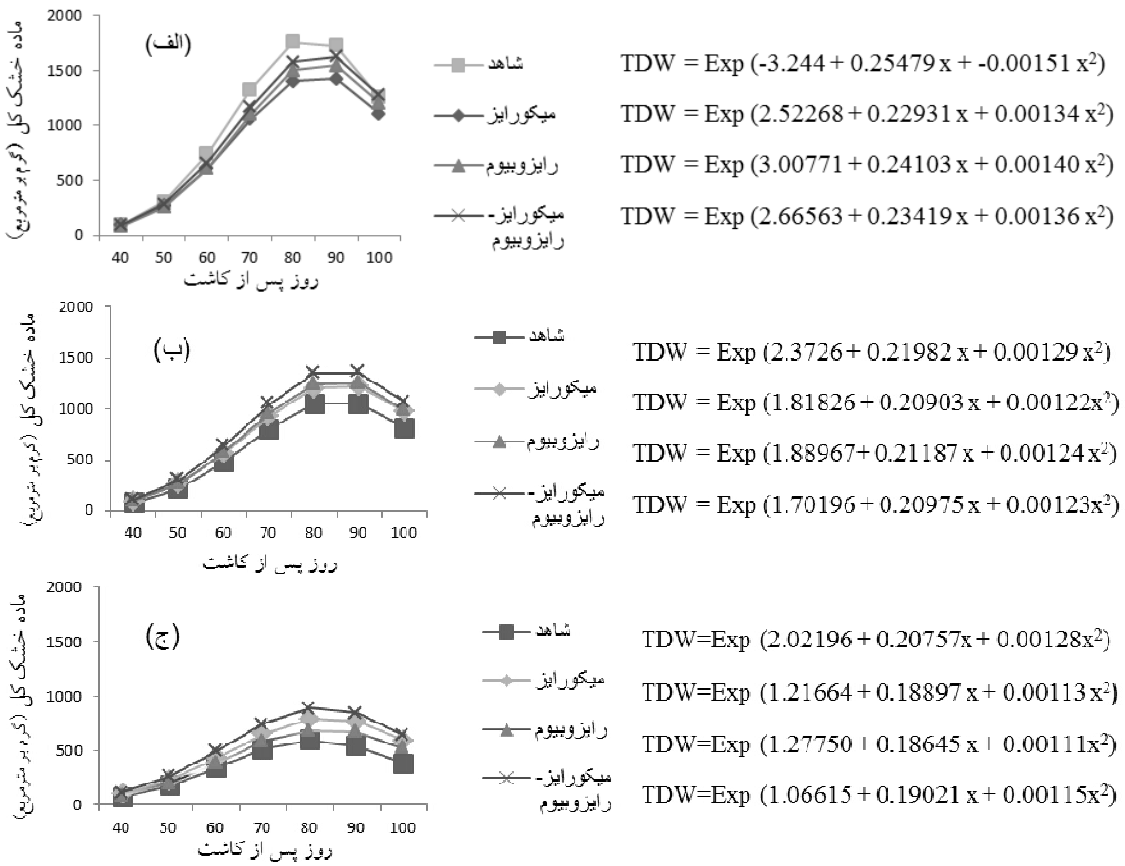
جدول ۴. همبستگی بین صفات

	(۱) حداکثر شاخص سطح برگ	(۲) سرعت جذب خالص(روز ۷۰)	(۳) حداکثر سرعت رشد محصول	(۴) سرعت نسبی رشد (روز ۷۰)	(۵) حداکثر ماده خشک کل	(۶) دوام وزن خشک کل	(۷) دوام سطح برگ
(۱)	۱						
(۲)	۰/۵۹**	۱					
(۳)	۰/۷۷**	۰/۹۱**	۱				
(۴)	۰/۷۶**	۰/۹۲**	۰/۹۴**	۱			
(۵)	۰/۸۸**	۰/۸۹**	۱/۰۰**	۰/۹۲**	۱		
(۶)	۰/۸۹**	۰/۸۵**	۰/۹۷**	۰/۸۸**	۰/۹۸**	۱	
(۷)	۰/۹۶**	۰/۶۷**	۰/۸۹**	۰/۷۷**	۰/۹۱**	۰/۹۴**	۱

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



شکل ۱. روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) در آبیاری مطلوب (الف)، تنش رطوبتی ملایم (ب) و تنش رطوبتی شدید (ج)



شکل ۲. روند تغییرات تجمع ماده خشک کل (TDW) در آبیاری مطلوب (الف)، تنش رطوبتی ملایم (ب) و تنش رطوبتی شدید (ج)

برادی‌رایزوبیوم ژاپونیکوم، جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه را بهبود بخشید و باعث افزایش طول و ماده خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد گره و جذب عناصر غذایی نسبت به شرایط بدون مایه‌زنی گردید (۳۴). هم‌چنین اظهار شده است که سویه‌های مختلف رایزوبیوم لگومینوزاروم ظرفیت تحریک رشد گیاه را از طریق مکانیسم‌های مستقیم تولید موادی مانند سیدروفور (۶) یا حل کنندهٔ فسفات (۶ و ۲۹) دارند. باکتری‌های حل کنندهٔ فسفات می‌توانند با سنتز هورمون‌های گیاهی باعث افزایش رشد گیاهی شوند به این ترتیب که در مراحل اولیه رشد گیاهی را تحت تأثیر قرار داده و ریشه حجم بیشتری از خاک را اشغال می‌کند و سطح جذب افزایش می‌یابد (۵).

علی‌اصغرزاد و همکاران (۲) در آزمایشی روی سویا تحت تنش رطوبتی گزارش نمودند که گیاهان تیمار شده با برادی‌رایزوبیوم ژاپونیکوم و گلوموس اتونیکاتوم دارای وزن خشک دانه و اندام هوایی بالاتر و پتانسیل آب بیشتری بودند و مکانیزم اصلی ایجاد شده در این گیاهان را اجتناب از خشکی عنوان نمودند.

با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که در ابتدای فصل رشد به‌دلیل کم بودن اندام‌های رویشی و اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه‌ها (۲۶)، رشد اندام هوایی بوته‌ها در تمام تیمارها آهسته بود که در این مدت تفاوت چندانی بین تیمارهای کود زیستی مشاهده نشد، اما در ادامه رشد و با رسیدن ماده خشک کل به حداکثر خود، تفاوت بین سطوح کودهای زیستی محسوس‌تر شد. در تیمارهای عدم تنش رطوبتی با توسعه اندام‌های هوایی و ریشه در نتیجه بهره‌برداری بیشتر از منابع قابل دسترس (نور، رطوبت و مواد غذایی) رشد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367]

بوته‌ها با سرعت بیشتری نسبت به تیمارهای تنش افزایش یافت و در انتهای فصل رشد به‌دلیل رقابت بیشتر بین بوته‌ها، پیری برگ‌ها، کاهش فتوسنتز و ریزش برگ‌ها (۸) تجمع مادهٔ خشک در تمامی تیمارها کاهش یافت. نتایج آزمایش نشان داد حداکثر تجمع ماده خشک تقریباً هم‌زمان با حداکثر شاخص سطح برگ بود. ضریب بالای همبستگی ۰/۸۸ بین حداکثر ماده خشک کل و حداکثر شاخص سطح برگ (جدول ۴)، تأثیرپذیری مستقیم میزان تجمع ماده خشک را از شاخص سطح برگ نشان می‌دهد. وقوع تنش خشکی در گیاه، سبب کاهش توسعه رویشی گیاه، به‌ویژه سطح برگ‌ها شد، در نتیجه توانایی فتوسنتزی گیاه و سرعت انباشت مادهٔ خشک کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد کاهش تولید مادهٔ خشک در گیاه زراعی که به‌علت کاهش محتوای آب خاک ایجاد شده است، ناشی از کاهش جذب تشعشع و کارایی فتوسنتز یا ترکیبی از هر دو عامل باشد (۸). لازکانو و لوات (۱۹) گزارش نمودند که با کاهش رطوبت خاک نه تنها هدایت روزنه‌ای بلکه جذب عناصر غذایی نیز در لوبیا کاسته شد.

سرعت جذب خالص

با توجه به جدول ۲ سرعت جذب خالص در ۷۰ روز پس از کاشت تنها تحت تأثیر تنش رطوبت قرار گرفت. سرعت جذب خالص در تنش متوسط و شدید به‌ترتیب ۲۶ و ۳۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵) که این امر ممکن است به‌دلیل افزایش تنفس جامعه گیاهی و تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های نگهدارنده و افزایش سرعت پیر شدن برگ‌ها در شرایط تنش رطوبتی باشد (۲ و ۱۰). هنگامی‌که گیاهان کوچک هستند و اغلب برگ‌ها در معرض نور مستقیم خورشید قرار می‌گیرند، سرعت جذب خالص در بالاترین مقدار خود قرار دارد و با گذشت زمان و افزایش سطح برگ و در سایه قرار گرفتن برگ‌ها و کاهش کارآیی برگ این شاخص کاهش می‌یابد (۲۵). شکل ۳ نیز چنین روندی از تغییرات سرعت جذب خالص را در طول دوره رشد سویا و در تمام تیمارها

جدول ۵. اثر تنش رطوبتی بر سرعت جذب خالص

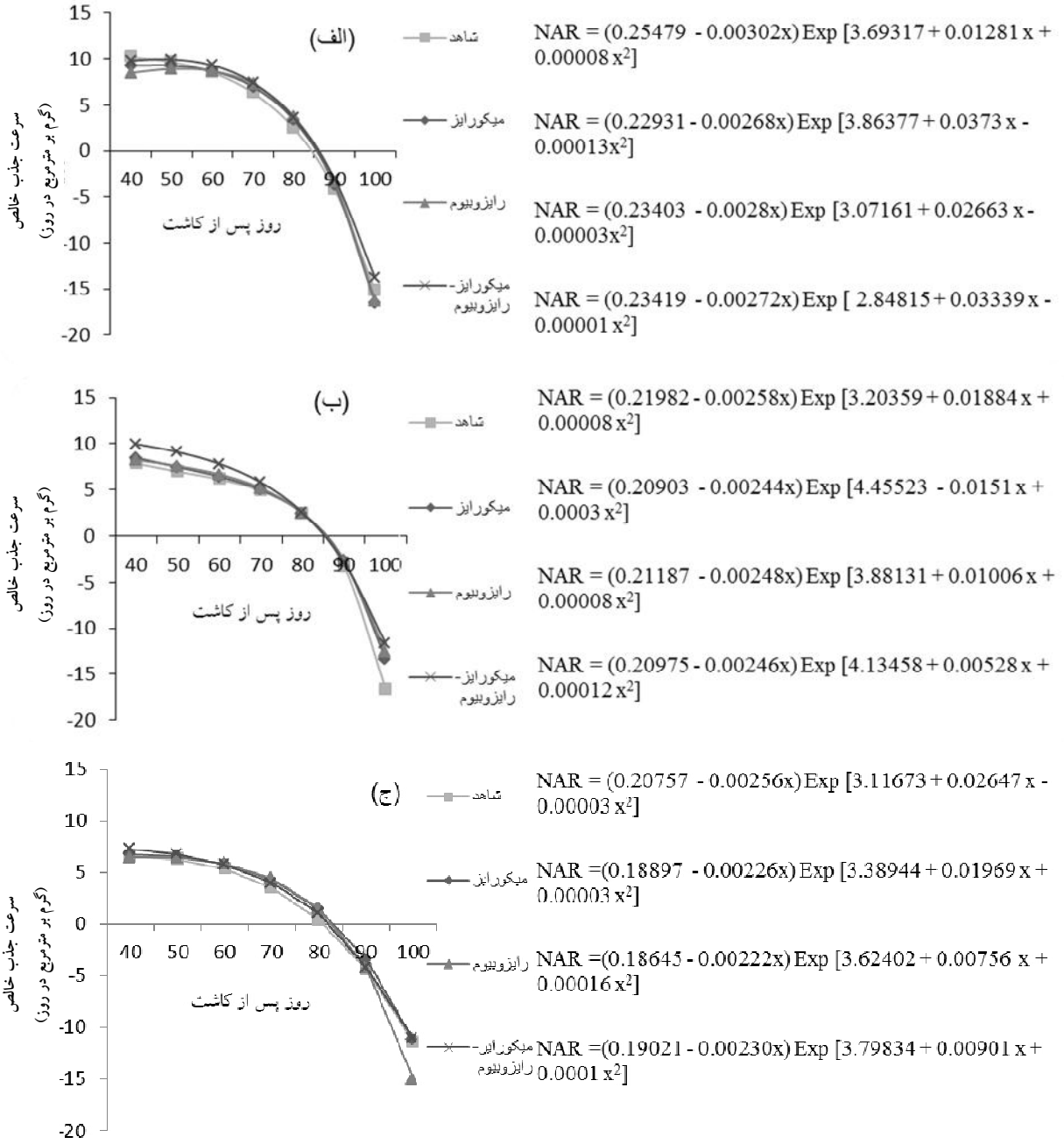
	میزان تبخیر (mm)	سرعت جذب خالص ($g\ m^{-2}\ day^{-1}$)
تنش رطوبتی	۵۰	۸/۰۱
	۱۰۰	۵/۹۰
	۱۵۰	۴/۹۶
$LSD_{\%5}$		۰/۴۲

نشان می‌دهد. تنش رطوبتی باعث افزایش شیب افت سرعت فتوسنتز خالص می‌گردد (۱۶) لذا هنگامی‌که برگ‌های جدید اضافه می‌شوند به‌علت سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر، وزن خشک به‌دست آمده به‌ازای واحد سطح برگ کاهش می‌یابد (شکل ۴). از آنجا که سرعت جذب خالص تابع مستقیم سرعت رشد محصول می‌باشد که از ضریب همبستگی بالای آنها نیز مشخص است (۰/۹۱، جدول ۴)، می‌توان کاهش شدید آن‌را در تنش شدید رطوبت به کاهش شدیدتر سرعت رشد محصول نسبت داد (شکل ۵).

سرعت نسبی رشد

افزایش نسبی وزن گیاه در واحد زمان سرعت نسبی رشد نامیده می‌شود (۳۳). سرعت نسبی رشد در ۷۰ روز پس از کاشت تحت تأثیر اثرات اصلی و متقابل تنش رطوبت و کود زیستی قرار گرفت (جدول ۲). بالاترین سرعت نسبی رشد در تیمار آبیاری مطلوب به‌همراه رایزوبیوم با ۰/۰۴۵ گرم بر گرم در روز مشاهده شد که البته با تیمار شاهد همان سطح تنش تفاوت آماری نشان نداد (جدول ۳). به‌طورکلی افزایش تنش رطوبتی سبب کاهش سرعت نسبی رشد گردید (جدول ۳ و شکل ۵). در شرایط عدم تنش رطوبت و نیز تنش شدید رطوبت کاربرد میکورایز و رایزوبیوم به‌تنهایی سبب افزایش سرعت نسبی رشد شد که این افزایش در رایزوبیوم بیشتر بود (جدول ۳) اما در تنش متوسط استفاده از کودهای زیستی حتی اثر کاهنده بر این شاخص نشان داد که به‌نظر می‌رسد شدت تنش رطوبت عامل

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367]

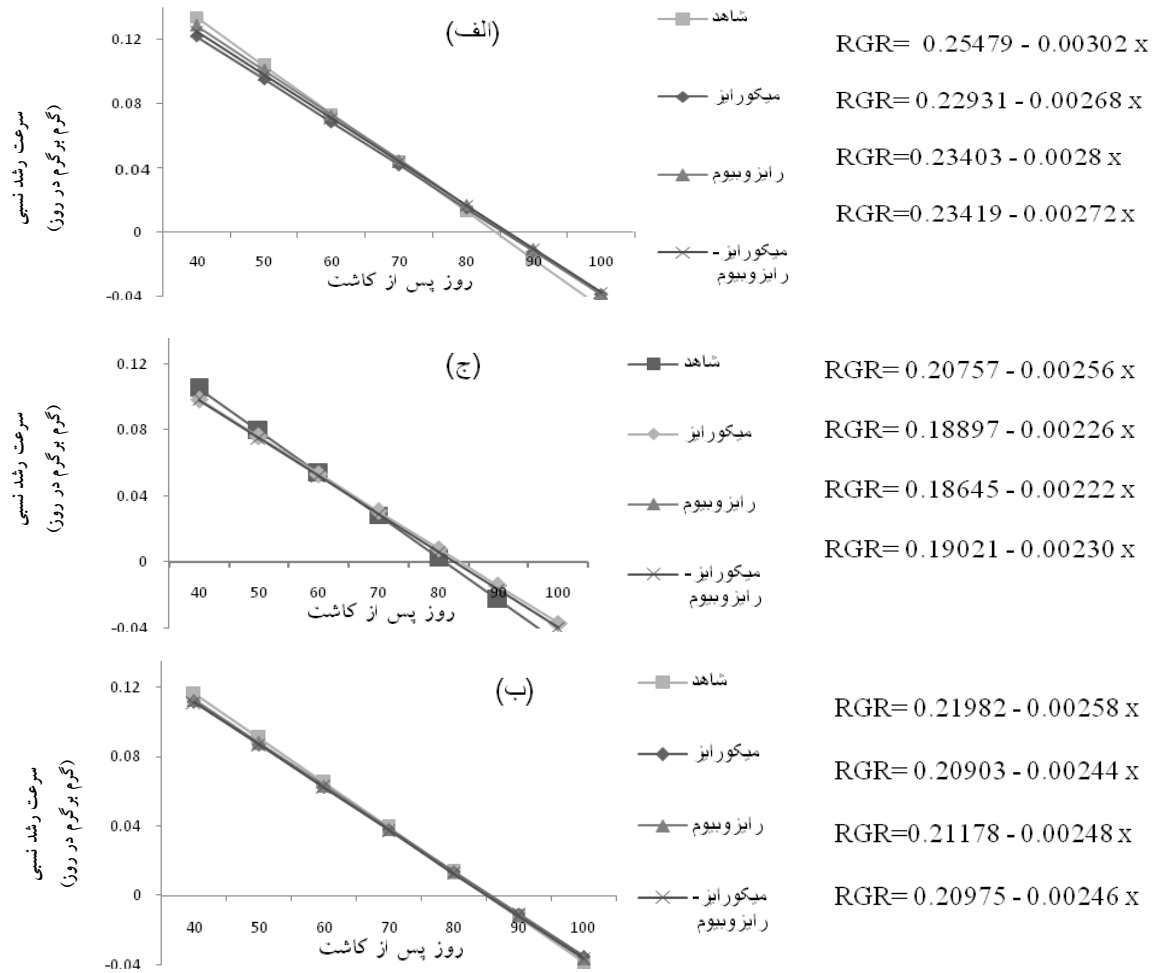


شکل ۳. روند تغییرات سرعت جذب خالص (NAR) در آبیاری مطلوب (الف)، تنش رطوبتی ملایم (ب) و تنش رطوبتی شدید (ج)

مهمی در اثرگذاری کودهای زیستی به‌کار رفته بر سرعت نسبی رشد می‌باشد، یعنی اینکه در تنش متوسط بین گیاه و میکروارگانیسم های موجود در کودهای زیستی بر سر دریافت مواد فتوسنتزی رقابت وجود دارد اما در تنش شدید این رقابت جای خود را به همکاری می‌دهد (۳).

سرعت نسبی رشد در طول فصل رشد سیر نزولی دارد (شکل ۴)، زیرا در اوایل دوره رشد گیاه، بیشتر بافت‌ها از نظر متابولیکی فعال هستند و با گذشت زمان مقدار بافت‌های غیر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367]



شکل ۴. روند تغییرات سرعت نسبی رشد (RGR) در آبیاری مطلوب (الف)، تنش رطوبتی ملایم (ب) و تنش رطوبتی شدید (ج)

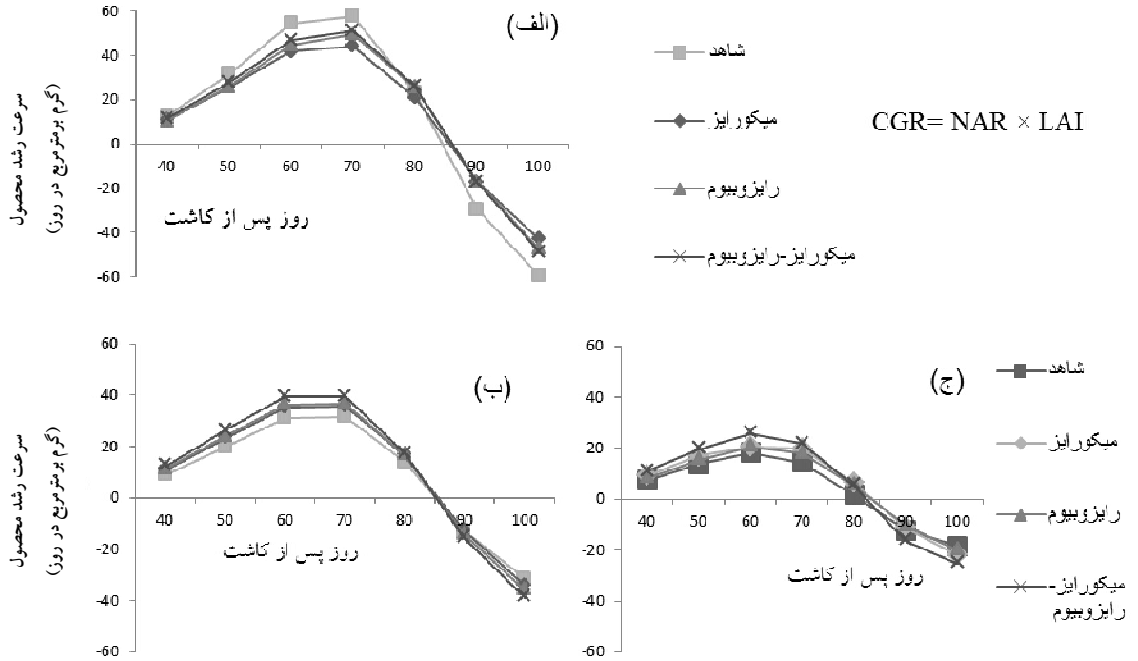
فعال (بافت‌های ساختمانی) بیشتر می‌شود (۲ و ۲۶).

سرعت رشد محصول

سرعت رشد محصول بیان‌کنندهٔ مقدار تجمع مادهٔ خشک در واحد سطح زمین و در واحد زمان است (۸ و ۳۳). تنش رطوبت، کود زیستی و اثر متقابل آنها تأثیر معنی‌داری بر حداکثر سرعت رشد محصول داشت (جدول ۲). اعمال تنش رطوبتی باعث کاهش سرعت رشد محصول گردید (شکل ۵ و جدول ۳). از دلایل کاهش سرعت رشد گیاه در شرایط تنش رطوبت، اختلال در فعالیت روزنه‌ها (۱۹)، تولید و یا فعالیت کمتر آنزیم روبیسکو، تولید گونه‌های فعال اکسیژن به‌علت اختلال در فعالیت فتوسیستم دو و کاهش فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با عناصر غذایی خاص است که در شرایط کمبود رطوبت جذبشان کاهش می‌یابد (۲۱).

حداکثر سرعت رشد محصول برابر۵۹/۲۲ گرم در مترمربع در روز در حالت عدم تنش رطوبتی و عدم کاربرد کود زیستی به‌دست آمد اما در شرایط تنش شدید رطوبت این کاربرد هم‌زمان هر دو کود زیستی بود که بالاترین سرعت رشد محصول را رقم زد (۲۲/۲۱ گرم در مترمربع در روز) که تفاوت معنی‌داری با تیمار عدم کاربرد کود زیستی در حالت تنش شدید رطوبتی نشان داد یعنی مصرف هر دو کود زیستی سبب افزایش ۵۰ درصدی در حداکثر سرعت رشد محصول در

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367]



شکل ۵. روند تغییرات سرعت رشد محصول در آبیاری مطلوب (الف)، تنش رطوبتی ملایم (ب) و تنش رطوبتی شدید (ج) شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت جذب خالص (NAR)، سرعت رشد گیاه (CGR)

شرایط تنش رطوبت گردید (جدول ۳). این تأثیر مثبت می‌تواند ناشی از افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۱) و بالاتر بودن سرعت جذب خالص (شکل ۳) در چنین شرایطی ارزیابی شود (۴ و ۷) چرا که همبستگی بالایی بین سرعت رشد محصول با حداکثر شاخص سطح برگ (۰/۷۷) و سرعت جذب خالص (۰/۹۱) به‌دست آمد (جدول ۴). هم‌چنین در این تحقیق سرعت رشد محصول با حداکثر ماده خشک کل بالاترین ضریب همبستگی موجود یعنی یک را نشان داد. از دیگر عوامل بهبود سرعت رشد تحت تأثیر کودهای زیستی می‌تواند تأمین بهتر عناصر غذایی ماکرو و میکرو مورد نیاز گیاه (۲، ۲۱، ۲۲ و ۲۳) و بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک (۲۵) باشد.

سرعت رشد محصول در مراحل اولیه به‌دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و درصد پایین جذب نور کم است ولی با نمو گیاه افزایش می‌یابد (شکل ۵). حداکثر سرعت رشد محصول غالباً با آغاز گل‌دهی هم‌زمان است ولی با افزایش سن گیاه به‌دلیل پیر شدن و حتی ریزش برگ‌ها کاهش یافته و منفی می‌شود (۸ و ۲۶).

دوام شاخص سطح برگ

دوام شاخص سطح برگ میزان سطح دوام بافت‌های فتوسنتز کننده را نشان می‌دهد و می‌تواند شاخص مناسبی از تولید باشد. این صفت تحت تأثیر اثرات اصلی و متقابل تنش رطوبت و کود زیستی قرار گرفت (جدول ۲). با توجه به جدول ۳ مقدار دوام شاخص سطح برگ در شرایط عدم تنش رطوبت با کاربرد کودهای زیستی به‌خصوص میکورایز کاهش معنی‌داری نشان می‌دهد که با نتایج صفات قبلی مطابقت دارد اما با افزایش شدت تنش رطوبت این روند معکوس شد به‌طوری‌که در تنش رطوبتی شدید کاربرد میکورایز به‌تنهایی و استفاده هم‌زمان از دو کود زیستی به‌ترتیب سبب افزایش ۱۷/۲ و ۳۴ درصدی این شاخص گردید. احتمالاً در شرایط تنش رطوبتی، حضور کودهای زیستی سرعت تخریب کلروفیل را کاهش داده‌اند (۲۰). از آنجا که هر چقدر شاخص سطح برگ و مدت زمان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367]

فعالیت برگ‌ها بیشتر باشد، این شاخص بزرگ‌تر خواهد بود، لذا می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط کمبود رطوبت کاربرد این کودهای زیستی مفید خواهد بود.

دوام وزن خشک کل

تنش، کود زیستی و اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد بر دوام ماده خشک معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه اثر تیمارهای مختلف کود زیستی بر دوام وزن خشک نشان داد کاربرد کودهای زیستی به‌ویژه کاربرد هم‌زمان دو کود در شرایط تنش ملایم و شدید در افزایش این شاخص در گیاه سویا مفید بود، به‌طوری‌که در تنش شدید رطوبتی کاربرد توأم دو کود زیستی منجر به افزایش ۴۵/۸ درصدی دوام مادهٔ خشک کل در مقایسه با تیمار عدم مصرف کودهای زیستی در همان سطح تنش گردید (جدول ۳).

به‌نظر می‌رسد بهبود وضعیت دوام وزن خشک در شرایط تنش رطوبت، ناشی از اثر مثبت کود زیستی بر دوام شاخص سطح برگ باشد که منجر به فراهمی بیشتر آسیمیلات‌ها به‌مدت طولانی‌تر شده است. اما در شرایط نبود تنش رطوبت احتمالاً به‌دلیل غالب بودن اثر رقابتی میکروارگانیسم کودهای زیستی (با گیاه سویا بر سر دریافت آسیمیلات‌ها) بر اثر مثبت آنها در بهتر کردن جذب آب و املاح، دوام ماده خشک تولید شده در حضور این میکروارگانیسم‌ها به‌خصوص میکورایز کاهش یافته است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت در شرایط مطلوب رطوبتی هیچ‌کدام از دو کود زیستی به‌کار رفته سودمند نبودند، به‌ویژه کود زیستی میکورایز که سبب کاهش بیشتری در شاخص‌های رشد گردید، اما با افزایش شدت محدودیت رطوبت کاربرد هر دو کود زیستی منجر به افزایش معنی‌داری در بیشتر شاخص‌های رشد گردید و مصرف هم‌زمان دو کود زیستی برادی‌رایزوبیوم ژاپونیکوم و میکورایز آربوسکولار توانست اثر منفی تنش رطوبت را در بیشتر شاخص‌های رشد کاهش دهد و در نتیجه خسارت ناشی از تنش رطوبت را کم کند.

منابع مورد استفاده

1. Albrecht, C., R, Geurts and T. Bisseling. 1999. Legume nodulation and mycorrhizae formation, two extremes in host specificity meet. *Journal of European Molecular Biology Organization* 18(2): 281-288.
2. Aliasgharzad, N., M. R. Neyshabouri, and G. Salimi. 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium japonicum* on drought stress of soybean. *Biologia Bratislava* 19: 324-328.
3. Auge, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhizae* 11: 3-42.
4. Azcon, R., M. Gomez and R. Tobar. 1996. Physiological and nutritional responses by *Lactuca sativa* L. to nitrogen sources and mycorrhizal fungi under drought conditions. *Biology and Fertility of Soils* 22: 156–161.
5. Azcon, R., J. M. Barea and D. S. Hayman. 1976. Utilization of rock phosphate in alkaline soils by plants inoculated with mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria. *Soil Biology and Biochemistry* 8: 135-138.
6. Chabot, R., H. Antoun and M. Cescas. 1996. Growth promotion of maize and lettuce by phosphate – solubilizing *Rhizobium leguminosarum* biovar Phaseoli. *Plant and Soil* 184: 311-321.
7. Boomsma, C. R. and T. J. Vyn. 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research* 108: 14-31.
8. Daneshian, J. 2000. Ecophysiological effects of water deficit in soybean. PhD Thesis, Tehran Islamic Azad University, Tehran, Iran. (In Farsi).
9. Daneshian, J. and S. Ghalebi. 2001. Effect of Withholding Irrigation at Podding Stage of Soybean for Selecting Drought Tolerant Cultivars. The Final Report, Agricultural Research and Education Organization, Seed and Plant Improvement Institute, Oil Seed Research Section. Karaj. (In Farsi).
10. De Costa, W. A. J. M. and K. N. Shanmugathasan. 2002. Physiology of yield determination of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under different irrigation regimes in the sub-humid zone of Serilanka. *Field Crops Research* 75: 23-35.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367]

11. Eduerdo E., J. Esculante and R. W. Wilcox. 1993. Variation in seed protein among nodes of normal and high protein soybean genotypes. *Agronomy Journal* 75: 590-595.
12. Ghosh, P. K., K. K. Ajay, M. C. Bandyopadhyay, K. G. Manna, A. K. Mandal and K. M. Hati. 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping system in vertisols of semiarid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresource Technology*. 95: 85-93.
13. Glick, B. R., C. L. Patten, G. Holguin and D. M. Penrose. 1999. Biochemical and Genetic Mechanisms Used by Plant Growth Promoting Bacteria. Imperial College Press, London, United Kingdom.
14. Gardner, F., R. Pearce and R. L. Mitchell. 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, Ames, USA.
15. Heatherly Larry, G. and R. Spurlock Stan.1993. Timing of furrow irrigation termination for determinate soybean on clay soil. *Agronomy Journal* 85: 1103-1108.
16. Karimzadeh Asl, KH., D. Mazaheri and A. Peighambari. 2004. Effect of four irrigation intervals on growth of three sunflower cultivars. *Desert Journal* 9(2): 255-266. (In Farsi).
17. Khoddambashi, M., M. Karimi and M. R. Khajehpour. 1990. Effect of different irrigation regimes on growth of soybean. *Iranian Journal of Agricultural Science* 21: 1-7. (In Farsi).
18. Khan, A. G. 2006. Mycorrhizoremediation an enhanced form of phytoremediation. *Journal of Zhejiang University Science Biology* 7: 503-514.
19. Lazzcano, F. I. and C. J. Lovatt. 1999. Relationship between relative water content, nitrogen pools and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* during water deficit. *Crop Science* 39: 467-475.
20. Li, S., S. R. Pezeshki and S. Goodwin. 2004. Effects of soil moisture regimes on photosynthesis and growth in cat tail (*Typha latifolia*). *Acta Oecologica* 25: 17-22.
21. Liu, A., C. Hamel, R. I. Hamilton, B. L. Ma and D. L. Smith. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhizae* 9: 331-336.
22. Liu, A., C. Plenchette and C. Hamel. 2007. Soil nutrient and water providers: how arbuscular mycorrhizal mycelia support plant performance in a resource limited world. pp. 37–66. *In:* Hamel, C. and C. Plenchette (Eds.) Mycorrhizae in Crop Production. Haworth Food and Agricultural Products Press, Binghamton, NY. USA.
23. Molla, A. H., Z. H. Shamsuddin, M. S. Halimi, M. Morziah and A. B. Putech .2001. Potential for enhancement of root growth and nodulation of soybean co-inoculated with Azospirillum and Bradyrhizobium in laboratory systems. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 457-463.
24. Muchow, R. C. 1985. An analysis of the effects of water deficiency on grain legumes grown in a semi-arid tropical environment in terms of radiation interception and its efficiency of use. *Field Crops Research* 11:309-323.
25. Nasiri Mahallati, M., A. R. Koucheki, P. Rezvani and A. R. Beheshti. 2001. Agroecology. Mashhad University Press. Mahhad. (In Farsi).
26. Rahnama, A. 2008. Plant Physiology. Pouran Pajouhesh Press. Tehran, Iran. (In Farsi).
27. Ravari, V. and D. J. Hum. 2003. Performance of a superior *Bradyrhizobium japonicum* and selected *Sinorhizobium ferdii* strain with soybean cultivar. *Agronomy Journal* 84: 1051-1056.
28. Reddy, A., R. Chaitanya and K. V. Munusamy Vivekanadan. 2004. Drought-induced response of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161: 1189-1202.
29. Rosas, S., M. Rovera, J. Andres and N. Correa. 2002. Effect of phosphorous solubilizing bacteria on the rhizobia legume symbiosis. *In:* Proceedings of the 15th International Meeting on Microbial phosphate Solubilization. Salamanca University, 16-19 July, Salamanca, Spain.
30. Shahmoradi, SH. 2003. Effects of water stress on quantitative and qualitative traits of soybean cultivars and soybean advanced lines. MSc. Thesis, Tehran University, Tehran, Iran. (In Farsi).
31. Streenivasa, M. N., G. T. Basavarga and J. M. Kulkarni. 1995. Vesicular-arbascular mycorrhiza assist in nodulation and N_2 fixation in soybean. *Journal of Maharashtra Agricultural University* 20: 292-293.
32. Toro, M., R. Azcon and J. M. Barea. 1998. The use of isotopic dilution techniques to evaluate the interactive effects of rhizobium geneotype, mycorrhizal fungi phosphate solubilizing rhizobacteria and rock phosphate on nitrogen and phosphorous acquisition by *Medicago sativa*. *New Phytologists* 138: 265-273.
33. Valadabadi, A., M. H. Lebaschi and H. Farahani. 2009. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi, penta oxide phosphate fertilizer and irrigation interval on physiological indices of coriander. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 25(3): 414-428. (In Farsi).
34. Zaidi, S. F. A. 2003. Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* fluorescent pseudomonas to control *Rhizoctonia solani* in soybean [*Glycine max* (L) Merr]. *Annals of Agricultural Research* 24: 151-153.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.30.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.367]