نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، ص. ۲۸۹-۲۷۷

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 277-289

اثر کم آبیاری بر انتقال مجدد و وزن خشک اندام‌های گیاهی سه ژنوتیپ گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.)

محمد علی بهدانی[1]* و بی‌بی الهه موسوی‌فر[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۹/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۲۷

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کم آبیاری بر درصد انتقال مجدد و وزن خشک اندام‌های گیاهی سه ژنوتیپ گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.)، آزمایشی مزرعه‌ای در سال زراعی ۸۷- ۱۳۸۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بیرجند به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با چهار تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل چهار سطح قطع آبیاری (آبیاری کامل، آبیاری تا مرحله دانه‌بندی، آبیاری تا مرحله گلدهی و آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی) و کرت‌های فرعی شامل سه ژنوتیپ گلرنگ بهاره (محلی اصفهان، اصفهان ۲۸ و IL111) بود. نتایج نشان داد که سه ژنوتیپ گلرنگ از نظر صفاتی مانند ماده خشک کل، وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه (برگ، ساقه و طبق) در دو مرحله گلدهی و رسیدگی، شاخص برداشت و درصد انتقال مجدد به سطوح مختلف قطع آبیاری پاسخ‌های متفاوتی داشتند. با افزایش مدت زمان قطع آبیاری از وزن خشک اندام-های گیاهی (برگ، ساقه و طبق) هر سه ژنوتیپ کاسته شد و ژنوتیپ IL111 نیز تحت شرایط آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی بیشترین کاهش را در این صفات دارا بود. همچنین با افزایش مدت زمان قطع آبیاری سهم انتقال مجدد به طبق‌ها نیز افزایش یافت. در بین سطوح قطع آبیاری، بیشترین و کمترین درصد انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به ترتیب در شرایط آبیاری تا تکمه‌دهی و آبیاری کامل مشاهده شد. به علاوه خصوصیت ژنتیکی ژنوتیپ‌ها نیز در این میان نقش مهمی داشت و ژنوتیپ IL111 بیشترین میزان درصد انتقال مجدد را دارا بود. با توجه به این نتایج و این که انتقال مجدد مواد فتوسنتزی، یکی از عمده‌ترین روش‌های جبران کاهش حاصل از تنش خشکی در فتوستز جاری گیاه است، یکی از نقاط قوت ارقام پاکوتاه جدید در مقایسه با ارقام قدیمی در میزان بالای این صفت می‌باشد. بنابراین از این طریق می‌توان عملکرد را در شرایط خشکی انتهایی بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، رسیدگی، شاخص برداشت، گلدهی، گیاه دانه روغنی

مقدمه

ایران در نوار عرضی ۲۵ تا ۳۸ درجه شمالی که کمربند مناطق کویری دنیاست، قرار گرفته است و تنها بخش کوچکی از دامنه کوه-های البرز و زاگرس دارای آب و هوای نیمه خشک می‌باشد و بقیه نقاط کشور از آب و هوای خشک برخوردار است. مناطق مرطوب کشور فقط به سواحل غربی دریای خزر محدود می‌گردد. با وجود بالا بودن میزان تبخیر در کشور میانگین سالانه نزولات جوی که منبع اصلی تأمین آب‌های شیرین کشور می‌باشد، کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال است که نه تنها به لحاظ مکانی، بلکه از لحاظ زمانی نیز پراکنش مناسب با الگوی مصرف آب ندارد (Jazaeri Nushabadi & Rezaei, 2007). به علاوه، در حال حاضر کشاورزی تکیه گاه مهم امنیت غذایی و حیات اقتصادی کشور است و از این‌رو کمبود آب به عنوان مهمترین و محدودکننده‌ترین عامل تولید، در این بخش مطرح می‌باشد و توجه بیشتر به مطالعه در مورد آثار تنش خشکی و انتخاب ارقام مقاوم به خشکی در تولید گیاهان زراعی و همچنین ذخیره آب و مصرف کارآمد آن را طلب می‌کند. یکی از روش‌های بهره‌وری آب اتخاذ سیاست‌های کم آبیاری است. در این روش، گیاه در یک مرحله خاص رشد و یا در تمام فصل رشد تحت تنش آبی سیستم قرار می-گیرد. تنش آبی می‌تواند از مقادیر کم تا حد پژمردگی دائم و مرگ گیاه متغیر باشد (Dwyer et al., 1992). در حال حاضر استفاده از روش‌های کم آبیاری، بدون برنامه‌ریزی مناسب، سبب کاهش درآمد کشاورزان شده است، در حالی‌که توجه به اصول کاهش آبیاری با مدیریت صحیح، از نظر اقتصادی مفید می‌باشد. معمولاً در شرایط کم

۱ و ۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند و کارشناس ارشد زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، باشگاه پژوهشگران جوان، مشهد
(*- نویسنده مسئول: (E-mail: mabehdani@yahoo.com

آبیاری برای استفاده بهینه از آب می‌بایست آن را در مراحل بحرانی رشد استفاده کرد، لذا شناسایی این مراحل بحرانی در هر گیاهی لازم و ضروری به نظر می‌رسد (Stewart et al., 1975). همچنین در شرایط کم آبی و محدودیت منابع آبی، تغییر الگوی کشاورزی به سمت کاشت گیاهان سازگار به خشکی می‌تواند راهکار مناسبی باشد.

گیاهان روغنی از نظر تأمین انرژی مورد نیاز انسان و دام، از جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات زراعی برخوردارند و یکی از با ارزش‌ترین محصولات بخش کشاورزی محسوب می‌شوند. از اینرو، کاشت دانه‌های روغنی از گذشته‌های دور بخش مهمی از کشاورزی کشورها از جمله بسیاری از کشورهای شرقی را تشکیل داده و برخی از آنها جزء اقلام صادراتی عمده این کشورها محسوب می‌شوند (Tavakoli, 2002). گلرنگ (*Carhtamus tinctorius* L.) یکی از گیاهان دانه روغنی چند منظوره و از خانواده کاسنی (Asteraceae) می‌باشد که دانه آن دارای ۲۵ تا ۴۵ درصد روغن و ۱۲ تا ۲۴ درصد پروتئین است. کیفیت روغن این گیاه در بین گیاهان روغنی به دلیل میزان اسید لینولئیک بین ۷۳ تا ۸۵ درصد، بالاترین مقدار است. علاوه بر تولید روغن، کنجاله آن نیز نقش اساسی در جیره غذایی دام دارد. همچنین رنگیزه‌های موجود در گل‌های آن دارای ارزش اقتصادی نسبتاً بالایی است (Purdad, 2007). منشأ جغرافیایی و مراکز تنوع ژنتیکی گلرنگ را نواحی مدیترانه‌ای، منطقه خاورمیانه و حتی ایران می‌دانند و لذا کاشت آن در ایران از قدمتی طولانی برخوردار است (Tavakoli, 2002). این گیاه به نواحی دارای بارندگی نسبتاً اندک با یک شرایط آب و هوایی خشک در طی گلدهی و رسیدگی سازگار شده است و به دلیل خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ویژه نظیر ریشه‌های عمیق در خاک به عنوان یک گیاه متحمل به شرایط نامساعد محیطی نظیر کم آبی، سرما، شوری و قلیایی بودن خاک شناخته شده و در بسیاری از کشورها به طور گسترده کشت می‌شود (Arnon, 1972).

مواد فتوسنتزی که در دانه ذخیره می‌شوند از سه مبدأ عمده یعنی فتوسنتز جاری، فتوسنتز قسمت‌های سبز غیر از برگ و انتقال مواد فتوسنتزی ذخیره شده در سایر اندام‌های گیاه تأمین می‌شوند. فتوسنتز جاری به عنوان یکی از مهمترین منابع کربن برای پر شدن دانه‌ها، به جذب مؤثر نور به وسیله سطح سبز گیاه پس از گرده‌افشانی وابسته است. این منبع نیز عموماً به واسطه پیری طبیعی برگ و بروز تنش-های مختلف از جمله تنش رطوبتی، تنش گرمایی و حتی زنده (بیماری‌ها) محدود می‌شود (Blum, 1998). این در حالی است که در همین زمان تقاضا برای مواد فتوسنتزی جهت پر شدن دانه‌ها و تقاضا برای تنفس نگهداری زیست توده زنده گیاه نیز افزایش می‌یابد و لذا وقوع تنش در هنگام پر شدن دانه‌ها بیشترین تأثیر را بر کاهش وزن و عملکرد آنها دارد (Koocheki & Sarmadnia, Abel, 1976; 2000). بنابراین، یکی از منابع مهم کربن برای پرکردن دانه‌ها ذخایر ساقه است. مادامی که تجمع برخی مواد معدنی در گیاه بیشتر از میزان مصرف آن جهت رشد است این مواد مازاد اغلب در ساقه انباشته شده و در مراحل بعدی رشد که معمولاً از دو تا سه هفته پس از گلدهی شروع می‌شود، به دانه انتقال می‌یابد که به این فرآیند انرژی خواه، انتقال مجدد[1] می‌گویند و جهت جلوگیری از کاهش بیشتر عملکرد به وسیله گیاه در زمان تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد، ولی کاهش عملکرد با آن همراه است (Blum, 1998). لازم به ذکر است حتی تحت شرایط معمولی (بدون تنش) نیز مواد فتوسنتزی حاصل از فتوسنتز جاری ممکن است جهت پر کردن دانه‌ها کفایت ننماید و این فرآیند با فتوسنتز جاری توأم گردد. از طرف دیگر، محدودیت رطوبت در خاک از طریق کاهش سطح برگ و متعاقب آن کاهش فتوسنتز و انتقال مواد پرورده به بخش‌های مختلف اجزای گیاه سبب کاهش ماده خشک هر بوته می‌گردد (Diallo et al., 2001). کاکس و جولیوف (Cox & Julliof, 1986) با ارزیابی صفات سویا (*Glycine max* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در شرایط کمبود رطوبت خاک مشاهده کردند که ماده خشک، عملکرد دانه و شاخص برداشت هر دو گونه در شرایط تنش رطوبتی کاهش یافته و این کاهش در گیاه سویا بیشتر بود. در مطالعه ابل (Abel, 1976) نیز میزان وزن خشک گلرنگ با افزایش سطح تنش خشکی کاهش یافت. از علل کاهش وزن خشک برگ در گیاه در هنگام تنش خشکی کاهش تعداد و سطح برگ‌ها و پیری و ریزش آنها می‌باشد که این تنظیم میزان سطح برگ، تغییر طولانی مدت مهمی است که باعث سازگاری بیشتر گیاه با شرایط کم آبی می‌شود (Emam & Zavare,2005). دلیل ریزش برگ‌ها در طی مدت تنش خشکی تا حدودی حاصل افزایش سنتز و حساسیت به هورمون اتیلن در درون گیاه می‌باشد (Mousavi Nick & Mobser, 2008).

بین ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ تفاوت معنی‌داری از نظر وزن خشک اندام‌ها و عملکرد دانه وجود دارد (Rashed Mohasel & Behdani & Jami Al-Ahmadi, 2008; Behdani, 1994). در پژوهشی که توسط راشد محصل و بهدانی (Rashed Mohasel & Behdani, 1994) با استفاده از چهار ژنوتیپ زراعی گلرنگ شامل دو ژنوتیپ خارجی SSV66 و LR295 و دو ژنوتیپ ایرانی ورامین ۲۹۵ و زرقان ۲۷۹ در مشهد انجام شد، مشخص گردید که ژنوتیپ‌های خارجی در مقایسه با ژنوتیپ‌های بومی و محلی وزن خشک کمتری داشتند. بسیاری از محققین با بررسی مقاومت به خشکی در ارقام مختلف گلرنگ گزارش کردند کمبود آب و بروز تنش خشکی در محیط رشد گلرنگ باعث کاهش اندازه گیاه و وزن خشک اندام‌ها، تغییر رنگ برگ‌ها، کم شدن دوام سطح برگ‌ها، کاهش عملکرد و شاخص برداشت می‌شود و توانایی ارقام نیز از نظر انتقال مجدد تحت

1- Remobilization

شرایط تنش متفاوت است (Kafi & Rostami, 2008; Rashed Behdani & Jami Al-Ahmadi; Mohasel & Behdani, 1994 ,2008). لذا با توجه به کاهش بارندگی در برخی از سال‌ها در اکثر مناطق ایران که منجر به بروز تنش خشکی به خصوص در مراحل انتهایی رشد اکثر گیاهان می‌شود و در نتیجه کاهش عملکرد نهایی آنها را در بردارد و نیز عکس‌العمل متفاوت ارقام به کمبود آب، اثر قطع آبیاری بر وزن خشک اندام‌های گیاهی، درصد تخصیص مواد، انتقال مجدد و شاخص برداشت در سه ژنوتیپ گلرنگ در مراحل مختلف رشد زایشی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶، به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند اجرا شد. کرت-های اصلی شامل چهار سطح آبیاری (آبیاری کامل، آبیاری تا مرحله دانه‌بندی، آبیاری تا مرحله گلدهی و آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی) و کرت‌های فرعی شامل، سه رقم گلرنگ بهاره (محلی اصفهان، اصفهان۲۸ و IL111) بود. هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به صورت جوی و پشته به طول پنج متر و با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود. همچنین در یک بلوک فاصله کرت‌های اصلی ۱/۵ متر و فاصله بین دو بلوک سه متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت دستی در ۲۷ فروردین ماه در عمق ۵-۴ سانتی‌متر خاک روی پشته و به صورت متراکم انجام شد و بلافاصله پس از آن آبیاری صورت گرفت. سپس، طبق مراحل نموی گیاه تیمارهای آبیاری اعمال شد. در مرحله ۶-۴ برگی گیاهچه‌ها بر اساس فاصله حدود پنج سانتیمتر تنک گردیدند.

در این آزمایش نیمه اول هر کرت آزمایشی جهت مقایسه عملکرد در نظر گرفته شد و تا پایان فصل هیچگونه نمونه‌برداری از آن قسمت انجام نشد و نیمه دوم هر کرت به نمونه‌برداری اختصاص یافت. به منظور تعیین روند تجمع ماده خشک در گیاه، از ۳۵ روز پس از کاشت به فاصله هر ۱۰ روز یکبار، در مجموع هشت نوبت نمونه‌برداری در طول فصل رشد، از نیمه دوم هر واحد آزمایشی انجام گرفت. در هر نوبت نمونه‌برداری، پنج بوته بطور تصادفی از نیمه دوم هر کرت جهت تعیین وزن خشک گیاه زراعی انتخاب و از سطح زمین برداشت شد و به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از تفکیک نمونه‌های مذکور به اندام-های مختلف (شامل برگ، ساقه و طبق)، جهت تعیین وزن خشک، اندام‌های مختلف گیاه به مدت ۷۲ ساعت در آون الکتریکی با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و وزن خشک هر نمونه ثبت گردید. سپس درصد انتقال مواد فتوسنتزی ساقه و شاخه‌ها از معادله (۱) محاسبه شد (Majnun Hosaini et al., 2002):

معادله (۱) $((W_1-W_2) / W_1)\times100$ = درصد انتقال مجدد ماده خشک ساقه و شاخه

که در این معادله، W_1= وزن خشک ساقه و شاخه‌ها در زمان ۵۰ درصد گلدهی و W_2= وزن خشک ساقه و شاخه‌ها در زمان رسیدگی می‌باشد.

برای محاسبه شاخص برداشت، ابتدا از ردیف‌های دوم، سوم و چهارم با رعایت اثر حاشیه نیم متری، سه متر مربع از مساحت هر کرت برداشت و توزین شد و عدد حاصله به عنوان عملکرد بیولوژیک در واحد سطح ثبت شد و سپس دانه‌ها جدا و وزن شدند و عملکرد دانه در واحد سطح محاسبه شد. از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت به دست آمد. در پایان تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Genstat صورت گرفت و در صورت معنی‌دار بودن اثر تیمارهای آزمایشی از آزمون LSD محافظت شده در سطح احتمال پنج درصد برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

به طور کلی با توجه به این که در اکثر گیاهان زراعی وزن خشک برگ و ساقه از ابتدای فصل رشد تا مرحله گلدهی روند افزایشی دارد و پس از این مرحله تا زمان رسیدگی به دلیل انتقال مواد ذخیره‌ای به اندام‌های زایشی و خشک شدن آنها کاهش می‌یابد (Kooler et al., 1970)، لذا تنها به بررسی وزن خشک برگ، ساقه و طبق در مراحل گلدهی و رسیدگی پرداخته شده است.

جدول ۱- میانگین دمای هوای و بارندگی ماهانه در منطقه بیرجند در شش ماهه اول سال۱۳۸۷

Table 1- Mean of the first six month temperature and precipitation in Birjand during 2008

ماه Month	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September
میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature mean (^{0}C)	17.43	22.51	28.59	30.93	26.96	24.54
میانگین بارندگی (میلی‌متر) Precipitation mean (mm)	1.4	0.9	0	0	0	0

تغییرات میزان تجمع ماده خشک (TDM)[1]: در این بررسی با افزایش مدت زمان قطع آبیاری، کاهش معنی‌دار در وزن خشک اندام‌های هوایی مشاهده شد (شکل۱-الف)، به طوری که تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی به ترتیب، بیشترین و کمترین میزان تولید ماده خشک گیاهی در واحد سطح را دارا بودند (شکل۱- الف) که احتمالاً به دلیل کمبود آب و بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه آن کاهش فتوسنتز و نیز افزایش دمای برگ و کانوپی در گیاه صورت گرفته است (Iramki et al., ; Terlestkaya, 2000 2000).

اورکا و نیلسن (Ourcu & Nilsen, 2000) دلیل کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی در شرایط تنش خشکی را کاهش سطح برگ دانستند که باعث کاهش دریافت نور و میزان فتوسنتز می‌شود. ایرامکی و همکاران (Iramki et al.,2000) دمای بالای برگ به علت بسته شدن روزنه‌ها تحت شرایط تنش خشکی را به عنوان یکی از عوامل مهم کاهش میزان تولید ماده خشک در گیاهان مطرح کرده‌اند. نیلسن (Nielsen, 1996) نیز با بررسی تنش خشکی بر روی گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) دریافت که در شرایط کمبود آب نسبت وزن اندام‌های هوایی کاهش می‌یابد، اگرچه این صفت تحت کنترل ژنتیکی است، ولی به شدت تحت تأثیر محیط نیز قرار دارد. در شرایط تنش خشکی، آب‌کشیدگی و کاهش حجم سلولی در اندام‌های هوایی بیشتر از ریشه‌ها رخ می‌دهد، بنابراین تحت این شرایط ذخایر فتوسنتزی بیشتری به ریشه‌ها تخصیص داده می‌شود و وزن اندام‌های هوایی نقصان می‌یابد، گیاه بیشتر انرژی خود را صرف حفظ و بقا در شرایط تنش کرده در نتیجه رشد و توسعه سلولی خود را کند و در شدیدترین حالت تنش متوقف می‌کند (Mousavi Nick & Mobser, 2007).

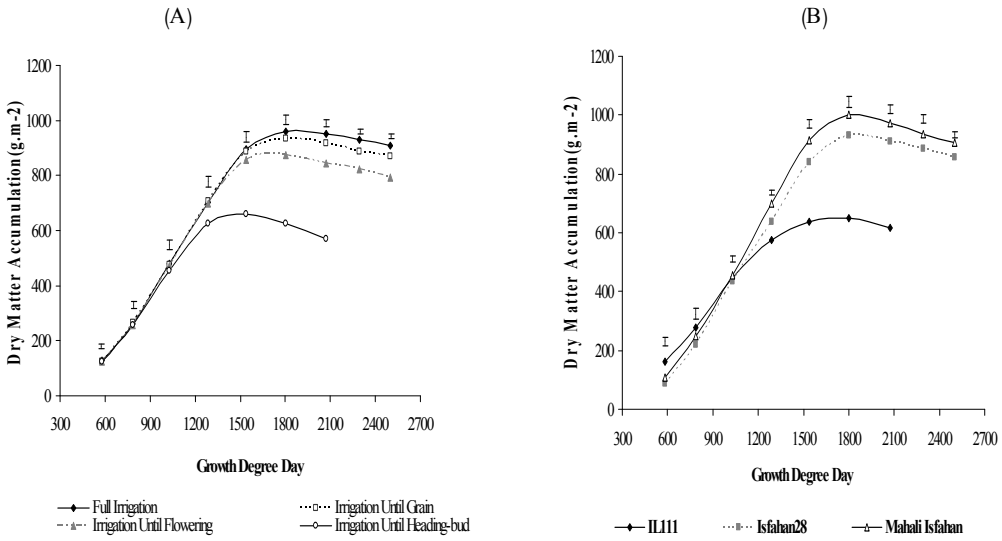
با پیشرفت فصل رشد میزان تفاوت بین ارقام نیز افزایش یافت به طوری که تغییرات ماده خشک در رقم محلی اصفهان نسبت به دو رقم دیگر بیشتر بود (شکل۱-ب)که دلیل آن شاخص سطح برگ بالاتر و فصل رشد طولانی‌تر این رقم نسبت به دو رقم دیگر می‌باشد (نتایج نشان داده نشده است).

وزن خشک برگ در مراحل گلدهی و رسیدگی: حداکثر وزن خشک برگ‌ها در تمام تیمارهای آبیاری در مرحله گلدهی حاصل شد و پس از این مرحله و با ورود گیاه به مرحله رسیدگی کاهش یافت (جدول‌های ۳ و ۴). اثر قطع آبیاری بر وزن خشک برگ در مرحله گلدهی معنی‌دار بود (جدول ۲)، در تیمار آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی به علت قطع آبیاری زود هنگام و کاهش در تعداد شاخه‌های ثانویه و در نتیجه کاهش در تعداد و سطح برگ گیاهان تحت این تیمار میزان وزن خشک این اندام نسبت به سه سطح دیگر آبیاری کمتر بود (جدول‌های ۳ و ۴). کولر و همکاران (Kooler et al., 1970) نیز اظهار داشتند که در سویا حداکثر وزن خشک برگ در مرحله گلدهی مشاهده شد و پس از آن با تخلیه مواد و ریزش برگ‌ها، وزن خشک برگ کاهش یافت. در مرحله رسیدگی نیز تفاوت بین وزن خشک برگ‌ها در تیمارهای مختلف آبیاری مشاهده شد (جدول‌های ۲ و ۳)، به طوری که در تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی به علت قطع آبیاری زودهنگام، ۳۶ درصد کاهش در وزن خشک برگ در مرحله رسیدگی نسبت به تیمار آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۳)، زیرا در اثر قطع آبیاری، سطح برگ کل یک گیاه بعد از بلوغ برگ‌ها به طور ثابت باقی نمانده و تحت این شرایط برگ‌ها پیر شده و در نهایت ریزش می‌کنند. فرآیند ریزش برگ در طول تنش آب تا حدود زیادی حاصل افزایش سنتز و حساسیت به هورمون اتیلن در درون گیاه است (Mousavi Nick & Mobser, 2007).

بین ژنوتیپ‌ها نیز از نظر وزن خشک برگ تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲). بیشترین و کمترین وزن خشک برگ به ترتیب در ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و IL111 مشاهده شد (جدول ۳). از جمله عوامل مؤثر در بالا بودن میزان وزن خشک برگ ژنوتیپ محلی اصفهان در مراحل گلدهی و رسیدگی می‌توان به دوره رشد طولانی‌تر، تعداد شاخه ثانویه و در نتیجه تعداد و سطح برگ بیشتر در این ژنوتیپ نسبت به دو ژنوتیپ دیگر اشاره کرد که همین امر به تولید مواد فتوسنتزی بیشتر جهت تخصیص به اندام‌های زایشی منجر شد (جدول ۵). در این بررسی وزن خشک کل برگ در مراحل گلدهی و رسیدگی نیز به طور معنی‌داری تحت تأثیر قطع آبیاری و ژنوتیپ واقع شد (جدول ۲). در مرحله رسیدگی بیشترین وزن خشک برگ در ژنوتیپ محلی اصفهان و تحت شرایط آبیاری کامل حاصل شد، در حالی که در همین مرحله ژنوتیپ IL111 از کمترین میزان وزن خشک برگ تحت شرایط آبیاری تا تکمه‌دهی برخوردار بود (جدول ۴).

به طور کلی، وزن خشک برگ در مرحله گلدهی تنها در تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی کاهش نشان داد و کمترین مقدار برای ژنوتیپ IL111 مشاهده شد که ناشی از کاهش تعداد شاخه‌های ثانویه و در نتیجه تعداد برگ در این ژنوتیپ بود، در حالی که در هر سه ژنوتیپ با افزایش مدت زمان قطع آبیاری کاهش در میزان وزن خشک برگ در مرحله رسیدگی به علت ریزش برگ‌ها مشاهده شد (جدول ۴). ریزش برگ‌ها متأثر از پدیده پیری است که به عنوان یک سازوکار مؤثر جهت کاهش تعرق و اختلاف پتانسیل بین ریشه‌ها و برگ‌ها در شرایط تنش رطوبتی و یا به منظور انتقال مجدد مواد پرورده به دانه‌ها یا اندام‌های در حال رشد صورت می‌گیرد (Emam & Zavareh, 2005).

1- Total Dry Matter



شکل ۱- تغییرات تجمع ماده خشک تحت تأثیر (الف) سطوح مختلف قطع آبیاری و (ب) ژنوتیپ در گلرنگ بهاره

Fig. 1- Trend of dry matter accumulation of spring safflower under (A) Different levels of disruption irrigation and (B) Genotypes

وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی در مراحل گلدهی و رسیدگی و انتقال مجدد: بیشترین وزن خشک ساقه و شاخه‌ها در زمان گلدهی حاصل شد و در ادامه رشد گیاه همزمان با پرشدن دانه وزن خشک ساقه و شاخه‌ها به دلیل انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای کاهش یافت (جدول ۳). افزایش وزن خشک ساقه و شاخه‌ها تا مرحله گرده‌افشانی و کاهش آن در مرحله پرشدن دانه در گیاهان زراعی دیگر نیز گزارش شده است (Mulkey et al., 1984; Simons & Jones, 1985).

سطوح قطع آبیاری در مرحله گلدهی از نظر وزن خشک ساقه و شاخه‌ها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۲) و تنها در تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی کاهش ۱۹ درصدی در این صفت نسبت به سه سطح دیگر مشاهده شد (جدول ۳)، زیرا قطع آبیاری از طریق کاهش تعداد شاخه‌های ثانویه، سطح برگ و سرعت جذب خالص به کاهش میزان مواد ذخیره‌ای خشک در ساقه و شاخه‌ها منجر شد (نتایج نشان داده نشده است).

اثر قطع آبیاری بر وزن خشک ساقه و شاخه‌ها در مرحله رسیدگی نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). با وجود این که در کلیه سطوح آبیاری کاهش در میزان وزن خشک ساقه و شاخه‌ها در اثر انتقال مجدد مواد به دانه‌ها مشاهده شد، اما این کاهش در تیمارهای آبیاری تا تکمه‌دهی و آبیاری تا گلدهی بیشتر بود، زیرا بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه افزایش مدت زمان قطع آبیاری به کاهش فتوسنتز جاری گیاه و افزایش انتقال مجدد مواد از ساقه و شاخه‌ها به اندام‌های زایشی منجر شد، به طوری که بیشترین میزان آن در تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی و کمترین آن نیز به طور مشترک در دو تیمار آبیاری کامل و آبیاری تا دانه‌بندی مشاهده شد (جدول ۳). با توجه به اینکه تنش خشکی در زمان پر شدن دانه‌ها باعث کاهش عملکرد دانه از طریق تقلیل فتوسنتز می‌گردد، بنابراین نیاز مقصدی برای پرکردن دانه از طریق انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده تأمین می‌شود. در نتیجه این امر، انتقال مواد فتوسنتزی به منظور پرکردن دانه‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. اگرچه انتقال مجدد مواد فتوسنتزی یک جز مهم عملکرد محسوب می‌شود، اما فتوسنتزی که در طول پرشدن دانه‌ها انجام می‌گیرد. معمولاً مهمترین منبع تشکیل‌دهنده وزن دانه و عملکرد دانه می‌باشد، زیرا اغلب مواد فتوسنتزی قبل از پرشدن دانه در رشد رویشی یا گلدهی مورد استفاده قرار می‌گیرد در حالی که در طول پرشدن دانه اغلب مواد فتوسنتزی به فرآیند پرشدن دانه اختصاص می‌یابد (Koocheki & Sarmadnia, 2000).

اثر ژنوتیپ بر وزن خشک ساقه و شاخه‌ها در مراحل گلدهی و رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۲)، به طوری که بیشترین و کمترین میزان وزن خشک ساقه و شاخه‌ها در این دو مرحله به ترتیب در ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و IL111 مشاهده شد که این تفاوت بین ژنوتیپ‌ها به تعداد شاخه جانبی، میزان مواد ذخیره‌ای و انتقال مجدد ساقه و شاخه‌ها به اندام‌های زایشی بر می‌گردد (جدول ۳). به علاوه بیشترین میزان انتقال مجدد ساقه و شاخه‌ها مربوط به ژنوتیپ IL111 با میانگین ۲۶/۸۸ درصد بود که به نظر می‌رسد به دلیل قطر ساقه بیشتر در این ژنوتیپ باشد (جدول ۳). بونت و اینکول (Bonnet & Incoll, 1992) نیز میزان انتقال مجدد را با محیط، ژنوتیپ و اندازه مخزن مرتبط دانسته‌اند.

جدول ۲- میانگین مربعات وزن خشک برگ، ساقه و طبق در مراحل گلدهی و رسیدگی و درصد انتقال مجدد و شاخص برداشت در سه ژنوتیپ گلرنگ بهاره تحت تأثیر قطع آبیاری

Table 2- Mean square of leaf, stem and heading dry mater in flowering and maturity stages and remobilization percent and harvest index in three spring safflower cultivars under 4 irrigation disruption levels

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مرحله گلدهی (Flowering stage)				مرحله رسیدگی (Maturity stage)			
		وزن خشک برگ Leaf dry matter	وزن خشک ساقه و شاخه Stem and branch dry matter	وزن خشک طبق Heading dry matter	وزن خشک برگ Leaf dry matter	وزن خشک ساقه و شاخه Stem and branch dry matter	وزن خشک طبق Heading dry matter	انتقال مجدد Remobilization	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	3	1.12 ns	14.76 ns	6.36 ns	0.16 ns	14.76 ns	202.12 ns	4.28 ns	1.5947 ns
آبیاری (A) Irrigation (A)	3	752.18 **	14094.98 **	25755.51**	2337.39 **	14094.98 **	118536.12 **	0.006 **	0.0253**
خطای اصلی Main eror	9	8.86	34.48	14.11	4.18	34.48	144.59	9.62	3.8482
ژنوتیپ (B) Genotype (B)	2	15591.51**	28619.88 **	49323.35 **	9232.02 **	28619.88 **	149284.16 **	0.01 **	0.0034**
آبیاری×ژنوتیپ A×B	6	31.97 *	357.26 **	530.95 **	54.77 **	357.26 **	3775.33 **	0.0001 **	0.0002**
خطای فرعی Sub eror	24	2.87	19.37	6.50	2.60	19.37	58.78	1.27	1.5111

ns، * و **: به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns,** and * are no-significant and significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی قطع آبیاری و ژنوتیپ بر وزن خشک اندام‌های گیاهی در مراحل گلدهی و رسیدگی و درصد انتقال مجدد در گلرنگ بهاره

Table 3- Mean compression of main effects disruption irrigation and genotype on dry mater of plant organs in flowering and maturity stages and remobilization percent and harvest index in spring safflower

تیمارها Treatments	مرحله گلدهی Flowering stage				مرحله رسیدگی Maturity stage		
	وزن خشک برگ (گرم بر متر مربع) Leaf dry matter ($g.m^{-2}$)	وزن خشک ساقه و شاخه (گرم بر متر مربع) Stem and branch dry matter ($g.m^{-2}$)	وزن خشک طبق (گرم بر متر مربع) Heading dry matter ($g.m^{-2}$)	وزن خشک برگ (گرم بر متر مربع) Leaf dry matter ($g.m^{-2}$)	وزن خشک ساقه و شاخه (گرم بر متر مربع) Stem and branch dry matter ($g.m^{-2}$)	وزن خشک طبق (گرم بر متر مربع) Heading dry matter ($g.m^{-2}$)	انتقال مجدد (درصد) Remobilization (%)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
رژیم آبیاری Irrigation regimes								
آبیاری کامل Full irrigation	243.80 a*	398.44 a	245.60 a	98.70 a	310.94 a	506.90 a	22.17 c	0.2791 a
آبیاری تا دانه‌بندی Irri. until grain filling	241.66 a	393.02 a	243.24 a	89.97 b	305.52 a	462.78 b	22.45 c	0.2571 b
آبیاری تا گلدهی Irri. until flowering	241.07 a	386.54 a	240.91 a	79.83 c	279.04 b	355.58 c	24.09 b	0.2160 c
آبیاری تا تکمه‌دهی Irri. Until heading-bud	226.52 b	323.28 b	150.97 b	63.23 d	235.88 c	288.90 d	27.31 a	0.1752 d
ژنوتیپ Genotype								
IL111	202.95 c	237.16 c	166.04 c	56.44 c	239.66 c	313.92 c	26.88 a	0.2487 a
اصفهان ۲۸ Isfahan28	249.67 b	372.19 b	218.22 b	92.80 b	284.69 b	390.85 d	23.78 b	0.2225 b
محلی اصفهان Isfahan Mahali	262.18 a	411.69 a	277.02 a	101.81 a	324.19 a	505.85 a	21.36 c	0.2243 b

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD حفاظت شده ندارند.

*Mean values in each column with the same superscript(s) do not differ significantly based on FLSD (P= 0.05).

جدول ٤- مقایسه میانگین وزن خشک اندام‌های گیاهی در مراحل گلدهی و رسیدگی، درصد انتقال مجدد و شاخص برداشت سه ژنوتیپ گلرنگ بهاره تحت چهار سطح قطع آبیاری

Table 4-Mean compression of dry mater of plant organs in flowering and maturity stages, remobilization percent and harvest index of three spring safflower genotypes under four irrigation disruption levels

رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	ژنوتیپ Genotype	مرحله گلدهی Flowering stage			مرحله رسیدگی Maturity stage			انتقال مجدد (درصد) Remobilization (%)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
		وزن خشک برگ (گرم بر متر مربع) Leaf dry matter ($g.m^{-2}$)	وزن خشک ساقه و شاخه (گرم بر متر مربع) Stem and branch dry matter ($g.m^{-2}$)	وزن خشک طبق (گرم بر متر مربع) Heading dry matter ($g.m^{-2}$)	وزن خشک برگ (گرم بر متر مربع) Leaf dry matter ($g.m^{-2}$)	وزن خشک ساقه و شاخه (گرم بر متر مربع) Stem and branch dry matter ($g.m^{-2}$)	وزن خشک طبق (گرم بر متر مربع) Heading dry matter ($g.m^{-2}$)		
آبیاری کامل Full irrigation	IL111	206.75 e*	347.90 e	190.21 c	67.76 f	260.40 f	381.82 e	25.15 d	0.3095 a
	Isfahan28	258.33 b	408.34 b	238.49 b	109.50 b	320.84 cd	497.00 c	21.43 f	0.2634 b
	Mahali Isfahan	266.44 a	439.06 a	308.10 a	118.83 a	351.56 a	641.87 a	19.93 g	0.2644 b
آبیاری تا دانه‌بندی Irri. until grain filling	IL111	205.83 e	345.14 e	187.10 c	63.51 g	257.64 f	358.76 e	25.35 d	0.2685 b
	Isfahan28	254.76 b	402.60 b	236.11 b	95.25 c	315.10 d	445.00 f	21.73 f	0.2527 c
	Mahali Isfahan	265.00 a	431.33 a	306.51 a	111.16 b	343.83 b	584.58 b	20.28 g	0.2500 c
آبیاری تا گلدهی Irri. until flowering	IL111	203.33 e	323.92 e	185.13 c	52.25 h	236.42 g	287.03 g	27.01 c	0.2297 d
	Isfahan28	257.16 b	366.03 b	235.42 b	92.33 c	278.53 e	341.83 b	23.90 e	0.2074 e
	Mahali Isfahan	265.16 a	409.68 a	305.17 a	94.91 c	322.18 c	437.88 d	21.36 f	0.2108 e
آبیاری تا تکمه‌دهی Irri. Until heading-bud	IL111	193.91 f	291.30 f	101.74 f	42.23 i	204.17 i	189.06 i	30.00 a	0.1872 f
	Isfahan28	233.41 d	311.78 d	162.87 e	74.14 e	224.28 h	237.33 h	28.07 b	0.1644 g
	Mahali Isfahan	252.25 c	366.68 c	188.32 d	82.33 d	279.21 e	269.32 g	23.86 e	0.1719 g

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD حفاظت شده ندارند.

*Mean values in each column with the same superscript(s) do not differ significantly based on FLSD (P= 0.05).

جدول ۵- نحوه تخصیص ماده خشک به اندام‌های مختلف ژنوتیپ‌های گلرنگ در مراحل نموی بهاره تحت تأثیر سطوح قطع آبیاری

Table 5- Portration of dry mater to different organs of spring safflower genotypes at development stage under four irrigation disruption levels

رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	ژنوتیپ Genotype	گلدهی Flowering				رسیدگی Maturity stage			
		وزن خشک کل Total Dry Matter (گرم بر متر مربع) ($g.m^{-2}$)	برگ Leaf	ساقه + شاخه‌ها Stem+Branches	طبق Heading	وزن خشک کل Total Dry Matter (گرم بر متر مربع) ($g.m^{-2}$)	برگ Leaf	ساقه + شاخه‌ها Stem+Branches	طبق Heading
		(درصد از کل وزن خشک) (Percentage of total dry matter)				(درصد از کل وزن خشک) (Percentage of total dry matter)			
آبیاری کامل full irrigation	IL111	744.86	27.75	46.70	25.53	709.98	9.54	36.67	53.77
	Isfahan28	905.16	28.53	45.11	26.34	927.34	11.80	34.59	53.59
	Mahali Isfahan	1013.60	26.28	43.31	30.39	1112.26	10.86	31.60	57.70
آبیاری تا دانه‌بندی Irri. until grain filling	IL111	738.07	27.88	46.76	25.34	679.91	9.34	37.89	52.76
	Isfahan28	893.47	28.51	45.06	26.42	855.35	11.13	36.83	52.02
	Mahali Isfahan	1002.84	26.42	43.01	30.56	1039.55	12.31	33.07	56.23
آبیاری تا گلدهی Irri. until flowering	IL111	712.58	28.53	45.45	25.98	575.70	9.07	41.06	49.85
	Isfahan28	858.61	29.95	42.63	27.41	712.69	12.95	39.08	47.96
	Mahali Isfahan	980.01	27.05	41.80	31.13	854.97	11.10	37.68	51.21
آبیاری تا تکمه‌دهی Irri. Until heading-bud	IL111	586.95	33.03	49.62	17.33	435.46	9.69	46.88	43.41
	Isfahan28	708.06	32.93	44.03	23.00	535.75	13.83	41.86	44.29
	Mahali Isfahan	807.25	31.24	45.42	23.32	630.86	13.05	44.25	42.69

اثر متقابل قطع آبیاری و ژنوتیپ نیز بر وزن خشک ساقه و شاخه‌ها در هر دو مرحله گلدهی و رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۲)، به طوری که ژنوتیپ محلی اصفهان در تمام سطوح قطع آبیاری جز آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی، بیشترین و ژنوتیپ IL111 تحت شرایط آبیاری تا تکمه‌دهی، کمترین وزن خشک ساقه و شاخه‌ها در مرحله گلدهی را دارا بودند (جدول ۴)، در حالی که نتایج این صفت در مرحله رسیدگی به علت اعمال تمام سطوح آبیاری و نیز تداوم قطع آبیاری در دو تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی و آبیاری تا گلدهی، اندکی متفاوت بود، به طوری که در این زمان، تیمار آبیاری تا مرحله گلدهی به یک گروه پایینتر از نظر آماری تنزل یافت و تحت این شرایط ژنوتیپ محلی اصفهان تنها در دو تیمار آبیاری کامل و آبیاری تا دانه‌بندی بیشترین وزن خشک ساقه و شاخه‌ها را دارا بود (جدول ۴).

نتایج نشان داد که در هر سه ژنوتیپ بیشترین وزن خشک ساقه و شاخه‌ها در مرحله گلدهی و در تمام سطوح قطع آبیاری به جز آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی حاصل شد (جدول ۴)، اما در مرحله رسیدگی با پیشرفت مراحل نموی و تداوم قطع آبیاری، علاوه بر تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی، کاهش در تیمار آبیاری تا گلدهی نیز به دلیل کاهش میزان فتوسنتز جاری در اثر قطع آبیاری و نیز افزایش درصد انتقال مجدد مواد (جدول ۴) مشاهده شد. به طور کلی در هر سه ژنوتیپ کمترین وزن خشک ساقه و شاخه‌ها به علت بیشترین تداوم قطع آبیاری و انتقال مجدد مواد به اندام‌های زایشی، تحت شرایط آبیاری تا تکمه‌دهی حاصل شد، زیرا این تیمار قطر ساقه و تعداد شاخه جانبی کمتر، طول فصل رشد کوتاهتر و در نتیجه کاهش در میزان تولید و ذخیره مواد فتوسنتزی را دارا بود (نتایج نشان داده نشده است). لازم به ذکر است که در بسیاری از مطالعات تفاوت وزن ساقه و شاخه‌ها در زمان گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک به عنوان شاخص میزان کربوهیدرات منتقل شده به دانه در نظر گرفته شده است در حالی که این فرض تا حدودی نادرست به نظر می‌رسد و مهمترین دلیل ذکر شده برای آن تنفس است، به طوری که گزارشات برخی محققان (Bonnet & Incoll, 1992; Bell & Incoll, 1990) نشان داده است که حدود ۷ تا ۴۲ درصد از تلفات کربوهیدرات ساقه و شاخه‌ها تحت تأثیر تنفس نشان داده شده است. لذا نتایج حاصل از روش فوق هر چند کاستی‌هایی دارد، ولی نقش انتقال مجدد در شرایط مختلف را تا حد قابل قبولی مشخص می‌سازد.

وزن خشک طبق در مراحل گلدهی و رسیدگی: به طور کلی در تمام تیمارهای آزمایشی وزن خشک طبق‌ها و اندام‌های رویشی از مرحله گلدهی تا مرحله رسیدگی به ترتیب، روند افزایشی و کاهشی داشتند (جدول‌های ۳ و ۴) که این افزایش وزن طبق‌ها با پیشرفت مراحل نموی گیاه ناشی از تخصیص بیشتر فتوسنتز جاری و نیز انتقال مجدد از ساقه و شاخه‌ها به این بخش می‌باشد که در نتیجه این امر کاهش در وزن ساقه و شاخه‌ها مشاهده شد (جدول ۳). کولر و همکاران (Kooler et al., 1970) در سویا و مالکی و همکاران (Mulkey et al., 1982) در کنجد چنین روندی را در افزایش وزن اندام‌های زایشی مربوطه گزارش کردند.

قطع آبیاری اثر معنی‌داری ($P\leq$ ۰/۰۱) بر وزن خشک طبق در هر دو مرحله گلدهی و رسیدگی داشت (جدول ۲). در مرحله گلدهی تنها تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی به کاهش وزن خشک طبق‌ها منجر شد که به دلیل کاهش تعداد طبق‌های اولیه و ثانویه بود، اما سه تیمار دیگر آبیاری از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۳). اثر قطع آبیاری بر وزن خشک طبق در مرحله رسیدگی نیز معنی‌دار ($P\leq$ ۰/۰۱) بود (جدول ۲). بیشترین وزن خشک طبق در شرایط آبیاری کامل حاصل شد و میزان کاهش این صفت در تیمارهای آبیاری تا دانه‌بندی، آبیاری تا گلدهی و آبیاری تا تکمه‌دهی به ترتیب حدود ۸/۷۰، ۲۹/۸۵ و ۴۳ درصد بود (جدول ۳). در تیمارهای آبیاری تا دانه-بندی و آبیاری تا گلدهی این کاهش در وزن خشک طبق‌ها تنها ناشی از کاهش میزان فتوسنتز جاری در اثر قطع آبیاری بود، اما در تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی کاهش میزان مواد فتوسنتزی در اثر اعمال تنش از یک سو و کاهش تعداد طبق‌های اولیه و ثانویه از سوی دیگر به بیشترین کاهش در وزن خشک طبق‌ها منجر شد (جدول ۳).

اثر ژنوتیپ نیز در وزن خشک طبق‌ها در هر دو مرحله گلدهی و رسیدگی معنی‌دار ($P\leq$ ۰/۰۱) بود (جدول ۲). ژنوتیپ محلی اصفهان به دلیل تعداد طبق بیشتر در واحد سطح از بیشترین میزان وزن خشک طبق نیز برخوردار بود. ژنوتیپ‌های اصفهان ۲۸ و IL111 نیز در رتبه‌های بعدی از نظر این صفت قرار گرفتند، زیرا تعداد طبق کمتری در واحد سطح دارا بودند. اثر متقابل قطع آبیاری و ژنوتیپ نیز بر وزن خشک طبق در هر دو مرحله معنی‌دار بود (جدول ۲)، به طوری که در مرحله گلدهی ژنوتیپ IL111 تحت شرایط آبیاری تا تکمه‌دهی کمترین میزان وزن خشک طبق را دارا بود و ژنوتیپ محلی اصفهان نیز در تیمار آبیاری کامل، آبیاری تا دانه‌بندی و آبیاری تا گلدهی بیشترین وزن خشک طبق را داشت (جدول ۴)، اما در مرحله دانه‌بندی بیشترین وزن خشک طبق در ژنوتیپ محلی اصفهان و تنها در شرایط آبیاری کامل حاصل شد و در این ژنوتیپ با افزایش مدت زمان قطع آبیاری در تیمارهای آبیاری تا دانه‌بندی، آبیاری تا گلدهی و آبیاری تا تکمه‌دهی نسبت به آبیاری کامل به ترتیب ۸/۹، ۳۱/۸ و ۵۸ درصد کاهش در وزن خشک طبق مشاهده شد. همچنین درصد کاهش وزن خشک طبق تحت تیمارهای ذکرشده در ژنوتیپ اصفهان ۲۸ به ترتیب، ۱۰/۵، ۳۱/۲ و ۵۲/۲ درصد و در ژنوتیپ IL111 به ترتیب، ۶، ۲۴/۸ و ۵۰/۵ درصد بود (جدول ۴). لذا به طور کلی می-توان چنین بیان کرد که در مرحله دانه‌بندی با افزایش مدت زمان قطع آبیاری کاهش وزن خشک طبق در هر سه ژنوتیپ مشاهده شد و

درصد کاهش این صفت در ژنوتیپ محلی اصفهان نسبت به دو ژنوتیپ دیگر بیشتر بود (جدول ۴).

تخصیص ماده خشک بین اندام‌های هوایی گلرنگ در مراحل گلدهی و دانه‌بندی در جدول ۵ نشان داده شده است. در مرحله گلدهی تقریباً حدود ۷۰ درصد به اندام‌های رویشی و ۳۰ درصد به اندام‌های زایشی اختصاص یافت، در حالی که در انتهای فصل رشد حدود ۵۱ درصد به بخش زایشی و ۴۹ درصد به بخش رویشی تخصیص پیدا کرد (جدول ۵). با افزایش مدت زمان قطع آبیاری به ویژه در تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی از تخصیص مواد به اندام‌های زایشی کاسته شد. همچنین در بین ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ محلی اصفهان قادر به تخصیص بیشتری از مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی خود بود. به طور کلی، با افزایش مدت زمان قطع آبیاری و کاهش تولید مواد فتوسنتزی تخصیص به اندام‌های زایشی در هر سه ژنوتیپ کاهش یافت.

شاخص برداشت: در این بررسی، اثر قطع آبیاری بر روی شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین و کمترین شاخص برداشت به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی حاصل شد (جدول ۳). با توجه به این که تنش خشکی از طریق قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد زایشی بر گیاه اعمال شد و فرآورده‌های فتوسنتزی در طی این مرحله به طور عمده صرف تولید و توسعه اندام‌های زایشی می‌شوند، لذا کاهش عرضه مواد پرورده در اثر تنش خشکی در مرحله زایشی، در اندام‌های زایشی منعکس و از طریق کاهش تعداد و وزن دانه در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه شد. البته کاهش در عملکرد بیولوژیک نیز صورت گرفت که نسبت به کاهش در عملکرد دانه کمتر بود (درصد کاهش عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در تیمار آبیاری تا دانه‌بندی به ترتیب ۴ و ۱۰ درصد، در تیمار آبیاری تا گلدهی ۱۱/۱ و ۳۰/۹ درصد و در تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی ۲۰ و ۵۰/۳ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل بود) (نتایج نشان داده نشده است)، زیرا بخش عمده وزن خشک اندام رویشی تا مرحله تکمه‌دهی تشکیل شده بود و فقط بخشی از آن به علت نامحدود بودن رشد این گیاه تا مرحله گلدهی ادامه یافت که در نهایت کاهش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیکی به کاهش در شاخص برداشت منجر شد.

در بین ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ IL111 بیشترین شاخص برداشت را دارا بود (جدول ۳). این مطلب نشانگر این واقعیت است که این ژنوتیپ در انتقال کربوهیدرات‌ها از اندام‌های سبز گیاه به دانه‌ها نسبت به دو ژنوتیپ دیگر موفق‌تر عمل کرده است. بین ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و اصفهان ۲۸ نیز تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص برداشت مشاهده نشد (جدول ۳). تفاوت بین ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص برداشت توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Mahmudieh et al., 2006; Behdani & Jami Al-Ahmadi, 2008; Mousavifar et al., 2009).

اثر متقابل معنی‌دار بین قطع آبیاری و ژنوتیپ از نظر شاخص برداشت وجود داشت (جدول ۲)، به طوری که بیشترین میزان شاخص برداشت تحت شرایط آبیاری کامل و در ژنوتیپIL111 حاصل شد. کمترین میزان شاخص برداشت نیز در تیمار آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی و در ژنوتیپ اصفهان ۲۸، به دست آمد (جدول ۴). کاهش شاخص برداشت در ژنوتیپ محلی اصفهان در شرایط آبیاری تا دانه‌بندی، آبیاری تا گلدهی و آبیاری تا تکمه‌دهی نسبت به تیمار آبیاری کامل به ترتیب ۵/۵، ۲۰/۳ و ۳۵ درصد، در ژنوتیپ اصفهان ۲۸ به ترتیب ۴/۱، ۲۱/۳ و ۳۶/۸ درصد و در ژنوتیپ IL111 به ترتیب ۱۳/۲، ۲۵/۸ و ۳۹/۵ درصد مشاهده شد (جدول ۴). بنابراین با افزایش مدت زمان قطع آبیاری از میزان شاخص برداشت در هر سه ژنوتیپ کاسته شد که درصد افت این صفت در ژنوتیپ IL111 نسبت به دو ژنوتیپ دیگر بیشتر بود. با توجه به این که شاخص برداشت بیانگر کارآیی توزیع مواد فتوسنتزی تولید شده در گیاه به دانه‌ها است و تحت شرایط تنش کاهش مواد فتوسنتزی در گیاه اتفاق می‌افتد، لذا سهم هر یک از دانه‌ها از این مواد کمتر شده که در نهایت به کاهش شاخص برداشت می‌انجامد.

نتیجه گیری

به طورکلی، در این آزمایش مشاهده شد که انتقال مجدد در گلرنگ تحت تأثیر مدیریت آبیاری و رقم قرار گرفت. در بین سطوح قطع آبیاری، بیشترین و کمترین میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به ترتیب در شرایط آبیاری تا تکمه‌دهی و آبیاری کامل مشاهده شد. به علاوه خصوصیت ژنتیکی ارقام نیز در این میان نقش مهمی داشت .به طوری که رقم IL111 بیشترین میزان انتقال مجدد را دارا بود که این امر می‌تواند به علت زودرس بودن و پیری سریع برگ‌های این رقم نسبت به دو رقم دیگر باشد. در کل نتایج این بررسی نشان داد که انتقال مجدد فرآیندی است که در صورت مواجه گیاه با تنش رطوبتی از کاهش بیشتر عملکرد دانه جلوگیری می‌کند. این فرآیند در شرایط تنش انتهای فصل اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. با توجه به این که تنش رطوبتی انتهای فصل از تنش‌های معمول آب و هوای مدیترانه‌ای است، لذا انتقال مجدد در این شرایط می‌تواند در جهت جلوگیری از کاهش بیشتر عملکرد دانه، ایفای نقش کند. عدم مواجهه با تنش رطوبتی قبل از گلدهی و در طول شکل‌گیری طبق باعث ایجاد مقصدی قوی خواهد شد و تحت این شرایط در صورت مواجه گیاه با شرایط تنش انتهای فصل به دلیل تقاضای مقصد میزان انتقال مجدد مواد ذخیره شده در اندام‌های مختلف گیاه افزایش یافته و سهم بیشتری در پر کردن دانه ایفاء می‌کنند. بنابراین با راهکارهای مدیریتی بایستی سعی شود تا در مراحل قبل از گلدهی گیاه کمتر با

تنش رطوبتی مواجه شود و به تبع آن مقصد قوی شکل گرفتـه تـا در شرایط تنش انتهای فصل که در شرایط ایـران معمـول اسـت انتقـال مجدد نقش بیشتری در جهت بهبود عملکرد دانه ایفا کند.

منابع

1- Abel, G.H. 1976. Effects of irrigation regimes, planting date, nitrogen levels, and spacing on safflower cultivar. Agronomy Journal 68: 448-451.
2- Arnon, I. 1972. Crop production in dry areas. Vol. II: Systematic treatment of the principal crops. Leonard Hill, London.
3- Behdani, M.A., and Jami Al-Ahmadi, M. 2008. Evaluation of growth and yield safflower cultivars in different planting dates. Iranian Journal of Field Crops Research 6(2): 245-254. (In Persian with English Summary)
4- Bell, C.J., and Incoll, L.D. 1990. The redistribution of assimilate in field grown winter wheat. Journal Experiment Botany 41: 949-960.
5- Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. Euphytica 100: 77-83.
6- Bonnet, G.D., and Incoll, L.D. 1992. The potential pre-anthesis and post-anthesis contributions of stem internodes to grain yield in crops of winter barley. Annual Botany 69: 219-225.
7- Cox, W.J., and Julliof, G.D. 1986. Growth and yield of sunflower and soybean under water deficit. Agronomy Journal 78: 226-230.
8- Diallo, A.T., Samb, P.I., and Roy-Macauley, H. 2001. Water status and stomatal behavior of cowpea, *Vigna unguiculata* L. Walp, plants inoculated with two *Glomus* species at low soil moisture levels. European Journal Soil Biology 37: 187-196.
9- Dwyer, L., Stewart, M., and Tollenaar, M. 1992. Analysis of maize leaf photosynthesis under drought. Canada Journal Plant Science 72: 477-481.
10- Emam, E., and Nicknezhad, M. 2004. Yield Physiology of Crop Plants. Shiraz University Publication, Iran 571 pp.
11- Emam, E., and Zavareh, M. 2005. Tolerate of Drought in Plants. Tehran University Publication, Iran p. 107-108.
12- Iramki, S.D., Haman, D.Z., and Bastug, R. 2000. Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. Agronomy Journal 92: 1221-1234.
13- Jazaeri Nushabadi, M.R., and Rezaei, A.M. 2007. Evaluation of relations between parameters in oat cultivars in water stress and non- stress conditions. Science and Methods Agriculture and Natural Source 11(1): 265-278.
14- Kafi, M., and Rostami, M. 2008. Effect of drought stress in reproductive growth stage on yield and components yield and oil content three safflower cultivars in irrigation with salty water conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 5(1): 121-131. (In Persian with English Summary)
15- Koocheki, A., and Sarmadnia, G. 2000. Crop Plants Physiology. Jihad Daneshgahi Publication, Mashhad, Iran 467 pp. (In Persian)
16- Kooler, H.R., Nyquist, W.E., and Chorush, I.S. 1970. Growth analysis of the soybean community. Crop Science 10: 407-412.
17- Mahmudieh, R., Ehsanzadeh, P., and Saeidi, G. 2006. Effect of genotype and shading of heading and near leaves on components yield and safflower yield in Isfahan. Iranian Journal of Agricultural Sciences 1(37):157-165. (In Persian with English Summary)
18- Majnun Hosaini, N., Mohammadi, H., Pustini, K., and Zainali Khanghah, M. 2002. Effects of density on crop characteristics, content of chlorophyll and percentage of stem remobilization in pea cultivars. Iranian Journal of Agricultural Sciences 34(4): 1011-1019. (In Persian with English Summary)
19- Mousavi Nick, S.M., and Mobser, H.R. 2007. Stress in Crop Plants and Facing with them. Shoara Publication, Iran 368 pp. (In Persian)
20- Mousavifar, B.E., Behdani, M.A., and Jami Al-Ahmadi, M. 2009. Response of spring safflower cultivars to different irrigation intervals in Birjand condition. In: Proceedings of Regional Congress on Water Crisis and Drought. Rasht, Iran p. 670-675. (In Persian)
21- Mulkey, Jr. H., Drawe, J., and Elledge, R.E. 1982. Planting date effects on plant growth and development in sesame. Crop Science 79: 701- 703.
22- Nielsen, D.C. 1996. Potential of canola as a dry land crop in north eastern Colorado. P. 281-287. In: Journal Janick progress in new crops. AsHs Press. Alexanderia, VA.
23- Ourcut, D., and Nilsen, E.T. 2000. Salinity and drought stress. In Physiology of Plants under Stress. KA/PP. p. 177-235.
24- Purdad, S. S. 2007. Safflower. Center of Mehr Publication, Iran 123 pp. (In Persian)

25- Rashed Mohasel, M.H., and Behdani, M.A.1994. Evaluation of the effect of cultivar and density on yield and components yield safflower plant. Iranian Journal of Agricultural Sciences and Technologies 8(2): 110-122.
26- Simons, S.R., and Jones, R.J. 1985. Contributions of presilking assimilate of grain yield in maize. Crop Science 25: 1004- 1006.
27- Stewart, J.I., Misra, R.D., Pruitt, W.O., and Hagan, R.M. 1975. Irrigation corn and grain sorghum with a deficient water supply. Trans ASAE 18: 270-280.
28- Tavakoli, A. 2002. Evaluation of the effect of irrigation disruption in different growth stages on yield and components yield safflower plant. MSc Thesis Faculty of Agriculture Tehran University, Iran. (In Persian with English Summary)
29- Terlestkaya, N. 2000. Water Stress. American Society of Plant Biologist 234 pp.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، ص. ۲۹۷-۲۹۰

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 290-297

اثر تراکم‌های مختلف کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بر قابلیت جذب و کارایی مصرف نور

لیدا رستمی[1*]، علیرضا کوچکی[2] و مهدی نصیری محلاتی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۲۷

چکیده

بمنظور بررسی اثر تراکم‌های مختلف کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بر میزان جذب و کارایی مصرف نور، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۱ تیمار و سه تکرار در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد، به اجرا در آمد. این آزمایش بصورت نظام کم نهاده اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت مخلوط ذرت با تراکم معمول لوبیا باضافه ۱۰٪، ۲۰ ٪ و ۳۰٪ لوبیای بیشتر، کشت مخلوط لوبیا با تراکم معمول ذرت باضافه ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ ذرت بیشتر، کشت مخلوط لوبیا با تراکم معمول باضافه ۱۰٪، ۲۰ ٪ و ۳۰٪ لوبیای بیشتر با ذرت تراکم معمول باضافه ۱۰٪، ۲۰ ٪ و ۳۰٪ ذرت بیشتر، کشت خالص ذرت و کشت خالص لوبیا بود. نتایج آزمایش نشان داد که شاخص سطح برگ، میزان جذب نور، تجمع مادهٔ خشک و کارایی مصرف نور ذرت در تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی ذرت افزایش یافت، در حالی که صفات نامبرده در لوبیا در تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی کاهش یافتند. اثرات تسهیل و تکمیل‌کنندگی کشت مخلوط بر صفات مورد بررسی برای ذرت بیشتر از لوبیا بود. کارایی مصرف نور ذرت در طول فصل رشد به ترتیب از ۱/۹۲ (کشت خالص ذرت) تا ۲/۳۰ (تیمار کشت مخلوط تراکم معمول ذرت با تراکم معمول لوبیا باضافه ۳۰٪ لوبیای بیشتر) و میانگین کارایی مصرف نور لوبیا به ترتیب ۰/۷۲ (تیمار کشت مخلوط ذرت باضافه ۳۰٪ ذرت بیشتر با لوبیا باضافه ۳۰٪ لوبیای بیشتر) تا ۱/۴۵ (تیمار کشت خالص) گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی، متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: جذب نور، شاخص سطح برگ، کارایی مصرف نور، کشت مخلوط ردیفی، مادهٔ خشک کل

مقدمه

اکثر منابع موجود در یک بوم‌نظام از جمله نور، دی‌اکسید کربن و آب به گونه‌ای در طبیعت محدود هستند و از طرفی، تفکر پایداری در کشاورزی اجازه استفاده از این منابع به هر میزان و هر طریقی را نمی‌دهد. لذا، این منابع باید به گونه‌ای مصرف شوند که نه تنها نیاز غذای امروز بشر تامین شود، بلکه برای آیندگان نیز قابل دسترس و استفاده باشد (Nassiri Mahallati et al., 2001). جهت نیل به این مهم، لزوم تجدیدنظر در ارتباط با مصرف منابع احساس می‌شود. یکی از بهترین راهکارها در راستای اهداف توسعه پایدار کشاورزی با هدف مصرف درست و معقولانه منابع و بهبود کارایی مصرف منابع می‌باشد (Baumann et al., 2002).

کشت مخلوط یکی از راهکارهای مدیریت زراعی است که بر کارایی مصرف نور در گیاهان تأثیر بسزایی دارد و باعث افزایش بهره‌وری تولید در ارتباط با نور، از طریق افزایش جذب تشعشع خورشیدی، کارایی مصرف نور و یا ترکیبی از هر دو می‌گردد (Zhang & Li, 2003). در کشورهای در حال توسعه، کشت مخلوط نقش مهمی در تولید غذا و معیشت مردم ایفا می‌کند (Tsubo & Walker, 2002). نتایج برخی آزمایشات نشاندهندهٔ کارایی بهتر مصرف نور (Awal et al., 2006; Tsubo et al., 2005) و عناصر غذایی (Rowe et al., 2005) در نظام‌های کشت مخلوط نسبت به تک کشتی می‌باشد. در طراحی یک نظام کشت مخلوط انتخاب نوع گونه‌ها به نحوی که اثرات تکمیل‌کنندگی بر یکدیگر داشته باشند شرط اصلی موفقیت می‌باشد که لازمه این کار شناخت کامل گیاه در ارتباط با نیازهای اکولوژیکی آن و نحوه واکنش آن به محیط است (Nachigera et al., 2008). معمولاً افزایش عملکرد در نظام کشت مخلوط، زمانی ایجاد می‌شود که گیاهان تشکیل‌دهنده مخلوط از نظر نحوه و میزان

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی و استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: E-mail: Li.rostami@yahoo.com)

استفاده از منابع طبیعی با یکدیگر کاملاً متفاوت باشند، اگر گونه‌های مخلوط از نظر خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی متفاوت باشند، می‌توانند از عوامل محیطی استفاده بهینه کنند (Baumann et al., 2002).

نور یکی از عوامل محیطی است که معمولاً میزان تولید گیاهان رابطه مستقیم به ازای مقدار نور جذب شده آن دارد (Tsubo et al., 2001). به عبارت دیگر، مقدار تشعشع دریافتی و نسبت جذب شده از این تشعشع توسط گیاه زراعی تعیین‌کننده سرعت رشد محصول می‌باشد. در زراعت‌های تک‌کشتی همواره مقادیر زیادی از نور در طول فصل رشد، بویژه در اوایل فصل از میان کانوپی عبور می‌کند، این بخش از نور علاوه بر اینکه بدون استفاده می‌ماند سبب افزایش تبخیر و دمای خاک می‌شود که این تلفات در کشت‌های مخلوط به علت پوشش بیشتر سطح خاک، اختلاف ارتفاع گیاهان و موج‌دار شدن سطح کانوپی به حداقل رسیده و سطح بیشتری از گیاهان در معرض نور قرار می‌دهد و این امر باعث استفاده بیشتر و بهتر از نور می‌شود (Tsubo et al., 2001). در مزرعه تک‌کشتی ذرت (*Zea mays* L.) به دلیل وجود فضای خالی در کانوپی، تلفات نور به مراتب بیشتر از بسیاری از گیاهان زراعی دیگر می‌باشد، لذا این فضای خالی امکان همراهی گیاهان دیگر با ذرت را آسان‌تر می‌سازد (Baumann et al., 2002). به همین دلیل امروزه گیاهان زیادی به خصوص از تیره بقولات (به دلیل قابلیت تثبیت نیتروژن) به صورت مخلوط با کشت می‌شوند. البته در کشت مخلوط، خصوصیات فیزیولوژیکی و ریخت شناسی گونه‌های موجود در نظام تعیین‌کننده‌ی رقابت نوری است (Nassiri Mahalati et al., 1380 ,Baumann et al., 2002). در آزمایشی دیگر کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2008) نیز گزارش کردند که شاخص سطح برگ، میزان جذب نور، تجمع مادهٔ خشک و کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در تمام تیمارهای کشت مخلوط نواری ذرت و لوبیا نسبت به تک‌کشتی آنها افزایش یافت. نامبردگان اظهار داشتند به استثنای کارایی مصرف نور (۸/۳ و ۱۴/۵ درصد)، افزایش عرض نوار در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تیمار عرض نوار دو ردیفی، منجر به کاهش شاخص سطح برگ (۳۴/۲ و ۵/۵ درصد)، میزان جذب نور (۲۰/۵ و ۱۱/۲ درصد) و تجمع مادهٔ خشک (۱۳/۱ و ۱/۵ درصد) به ترتیب در ذرت و لوبیا شد. در این بررسی میانگین کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در طول فصل رشد به ترتیب از ۱/۶۵ و ۰/۹۸ در تیمار کشت خالص تا ۱/۹۴ و ۱/۱۵ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی در تیمار عرض نوار دو ردیفی متغیر بود.

نتایج بررسی‌های مختلف نشان از انجام مطالعات زیادی روی کارایی مصرف نور در نظام‌های کشت مخلوط با دامنهٔ وسیعی از ترکیب گیاهان زراعی در سایر نقاط دنیا در طی سه دهه گذشته می‌باشد (Corlett et al., 1992; Black & Ong, 2000)، با اینحال کمبود این نوع مطالعات در ایران کاملاً محسوس می‌باشد. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، این تحقیق با هدف ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ردیفی ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط آب و هوایی مشهد اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد (عرض جغرافیایی، ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی، ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۹۸۵ متر) انجام شد. متوسط بارندگی سالیانه ۲۸۶ میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه در این منطقه به ترتیب ۴۲ و ۲۷/۸- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. آب و هوای منطقه بر طبق روش تقسیم بندی اقلیمی آمبرژه، سرد و خشک می‌باشد (Koocheki et al., 2008).

در این آزمایش از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۱ تیمار استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت خالص ذرت (MC)، کشت خالص لوبیا (MB)، کشت مخلوط تراکم معمول لوبیا با تراکم معمول ذرت باضافه ۱۰٪ ذرت بیشتر B(C+10%) ، تراکم معمول لوبیا با تراکم معمول ذرت باضافه ۲۰٪ ذرت بیشتر B(C+20%)، تراکم معمول لوبیا با تراکم معمول ذرت باضافه۳۰٪ ذرت بیشتر B(C+30%)، تراکم معمول ذرت با تراکم معمول لوبیا باضافه ۱۰٪ لوبیای بیشتر C(B+10%)، تراکم معمول ذرت با تراکم معمول لوبیا باضافه ۲۰٪ لوبیای بیشتر C(B+20%)، تراکم معمول ذرت با تراکم معمول لوبیا باضافه ۳۰٪ لوبیای بیشتر C(B+30%)، تراکم معمول ذرت باضافه ۱۰٪ ذرت بیشتر با تراکم معمول لوبیا باضافه ۱۰٪ لوبیای بیشتر (C+10%)(B+10%)، تراکم معمول ذرت باضافه ۲۰٪ ذرت بیشتر با تراکم معمول لوبیا باضافه ۲۰٪ لوبیای بیشتر (C+20%)(B+20%)، تراکم معمول ذرت باضافه ۳۰٪ ذرت بیشتر با تراکم معمول لوبیا باضافه ۳۰٪ لوبیای بیشتر (C+30%)(B+30%). در این آزمایش از ذرت رقم سینگل گراس ۷۰۴ که یک رقم دو منظوره (دانه‌ای و علوفه‌ای) و لوبیا رقم درخشان (k-r-d-26) که رقمی ایستاده و مناسب برای برداشت مکانیزه می‌باشد، استفاده شد.کشت دو گونه در نیمه دوم اردیبهشت سال ۱۳۸۷ با دست، به صورت خشکه‌کاری و همزمان انجام شد. در تمام کرت‌های آزمایشی، شش ردیف پشته به طول چهار متر و با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر ایجاد شد. کشت بصورت مخلوط ردیفی، متراکم بر روی خطوط کشت انجام شد. پس از سبز شدن گیاهان عملیات تنک انجام و تراکم مورد نظر اعمال گردید. تراکم معمول در کشت خالص ذرت و لوبیا به ترتیب ۶۰۰۰۰ و ۱۶۰۰۰۰بوته در هکتار در نظر گرفته شد.

از ۲۵ روز پس از سبز شدن تا مرحله رسیدگی، نمونه‌های

تصادفی (در هر کرت و برای هر کدام از گیاهان دو بوته) به فواصل تقریبی دو هفته یک بار، جهت محاسبات تغییرات سطح برگ و وزن خشک، برداشت شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل Li-cor) استفاده شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان ۴۸ ساعت قرار گرفتند.

میزان تشعشع خورشیدی روزانه برای عرض جغرافیایی مشهد به روش ارائه شده توسط گودریان و وان‌لار (Goudriaan & Van laar, 1993) محاسبه شد. سپس، این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز اقلیم‌شناسی خراسان (سایت هواشناسی استان خراسان رضوی، ۱۳۸۸) اصلاح و تشعشع جذب شده روزانه برای هر دو گونه بر اساس معادلات (۱) تا (۳) محاسبه شد (Tsubo et al., 2005):

$$I_{abs} = I_0 \times (1 - \rho) \times (1 - \exp(-K_C \times LAI_C) + (-K_B \times LAI_B)) \quad \text{معادله (۱)}$$

$$I_C = I_{abs} \times ((K_C \times LAI_C) / ((K_C \times LAI_C) + (K_B \times LAI_B))) \quad \text{معادله (۲)}$$

$$I_B = I_{abs} - I_C \quad \text{معادله (۳)}$$

که در این معادله، I_{abs}: نور جذب شده توسط کانوپی مخلوط (مگاژول بر متر مربع)، I_0: نور رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر متر مربع) و ρ: ضریب انعکاس که برای ذرت و لوبیا ۰/۰۸ منظور شد، K_C و K_B، ضریب خاموشی نور به ترتیب برای ذرت (۰/۶) (Boons-prinz et al., 1993) و لوبیا (۰/۸) (Tsubo et al., 2001) و LAI_C و LAI_B: به ترتیب شاخص سطح برگ ذرت و لوبیا و I_C و I_B: به ترتیب نور جذب شده توسط کانوپی ذرت و لوبیا است. به منظور برآورد مقادیر شاخص سطح برگ روزانه از معادله (۴) استفاده شد (Koocheki et al., 2008):

$$LAI = a + b \times 4 \times (\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^2 \quad \text{معادله (۴)}$$

که در این معادله، a: عرض از مبداء، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI، d: نقطه عطف منحنی است که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود و x: زمان بر حسب روز پس از کاشت است.

سپس تشعشع جذب شده در هر مرحله از حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در درصد نور جذب شده (معادله ۵) بدست آمد و مقدار کل تشعشع جذب شده به صورت تجمعی از طریق حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر تشعشع فعال فتوسنتزی[1] (PAR) جذب شده نسبت به زمان محاسبه گردید (Mondani et al., 2007). کارایی مصرف نور[2] (RUE) بر حسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک (گرم بر متر مربع) و میزان تشعشع فعال تجمعی (مگاژول بر متر مربع) محاسبه گردید (Monteith, 1977).

$$\%I_{abs} = (\frac{I_0 - I}{I_0}) \times 100 \quad \text{معادله (۵)}$$

به منظور برآورد مقادیر تجمع مادهٔ خشک روزانه نیز از معادله (۶) استفاده شد (Koocheki et al., 2008):

$$TDM = a / (1 + b \times \exp(-c \times x)) \quad \text{معادله (۶)}$$

که در این معادله، TDM: مادهٔ خشک تجمعی بر حسب گرم بر متر مربع، a: حداکثر تجمع ماده خشک، b: ضریب ثابت، c: سرعت رشد نسبی و x: زمان بر حسب روز پس از کاشت است. داده‌های آزمایش توسط نرم افزار SAS Ver. 9.1 تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم اشکال نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

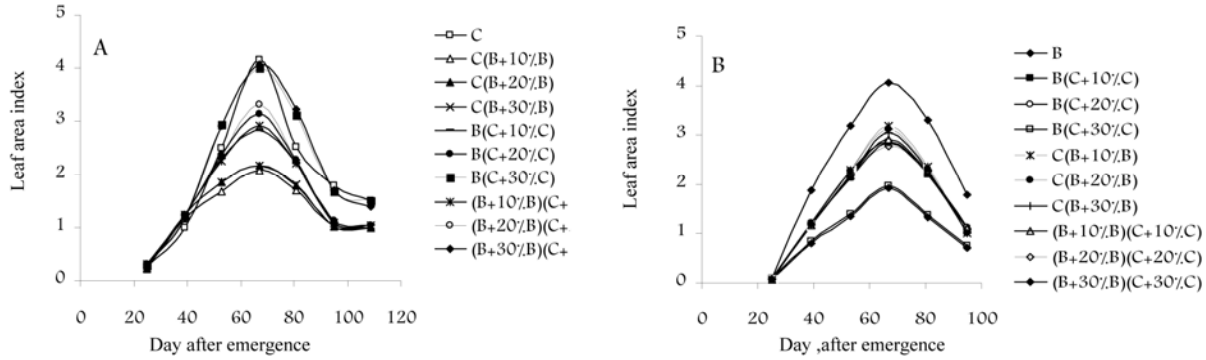
نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج حاکی از روند مشابه تغییرات شاخص سطح برگ ذرت و لوبیا در طول فصل رشد، صرف نظر از تراکم، برای تمامی تیمارها بود، بطوری که در طول فصل رشد با افزایش تعداد روزهای پس از سبز شدن، شاخص سطح برگ دو گیاه افزایش یافته و در اواخر فصل رشد به دلیل پیری و ریزش برگ‌های پایین کانوپی و جایگزینی آنها با برگهای کوچک و نزدیک شدن به مرحله رسیدگی، در تمام تیمارها کاهش یافت (شکل ۱). وجود اثرات تسهیل کنندگی و تکمیل کنندگی ذرت و لوبیا در کنار یکدیگر، منجر به افزایش شاخص سطح برگ هر یک از گیاهان به تنهایی شد. موکالا و همکاران (Mukhala et al., 1999) نیز افزایش شاخص سطح برگ گیاهان مخلوط شده نسبت به حالت تک کشتی آنها را گزارش کردند.

در میان تیمارهای مختلف کشت مخلوط ذرت، افزایش تراکم روی ردیف‌های کشت به دلیل ایجاد کانوپی بسته‌تر، عامل افزایش شاخص سطح برگ این گیاه بود، اما در تیمار کشت خالص ذرت، کمتر بودن فاصله ردیفهای کشت نسبت به تیمارهای کشت مخلوط باعث افزایش رقابت درون گونه‌ای برای جذب نور و در نتیجه کاهش سطح برگ ذرت در مقایسه با تیمارهای کشت مخلوط شد. بطوریکه بیشترین میزان شاخص سطح برگ ذرت در تیمار کشت مخلوط تراکم معمول ذرت باضافه ۳۰٪ ذرت بیشتر با تراکم معمول لوبیا باضافه ۳۰٪ لوبیای بیشتر با ۴/۰۷ و کمترین میزان شاخص سطح برگ ذرت در تیمار کشت مخلوط تراکم معمول ذرت با تراکم معمول لوبیا باضافه ۱۰٪ ذرت بیشتر با ۲/۰۹ بدست آمد.

1- Photosynthetically Active Radiation
2- Radiation Use Efficiency



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف کشت مخلوط بر شاخص سطح برگ ذرت (A) و لوبیا (B) طی روزهای پس از سبز شدن

Fig. 1- Effect of intercropping treatments on corn (A) and bean (B) leaf area index at day after emergence

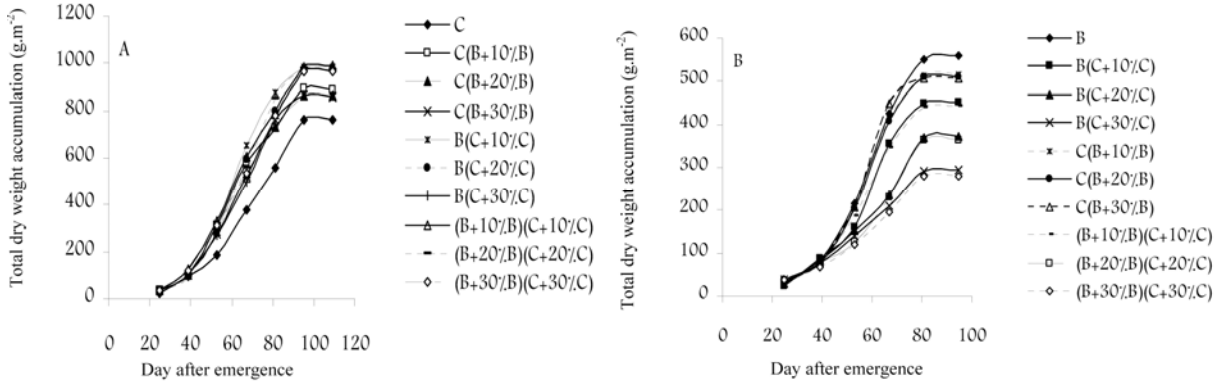
بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ لوبیا در ۷۰-۶۵ روز پس از سبز شدن به ترتیب در تیمار کشت خالص لوبیا، (۴/۰۶) و کشت مخلوط تراکم معمول لوبیا باضافه ۳۰٪ لوبیای بیشتر با تراکم معمول ذرت باضافه ۳۰٪ ذرت بیشتر، (۱/۹۲) مشاهده شد. اختلاف سطح برگ لوبیا در کشت خالص و مخلوط، علاوه بر جذب کمتر منابع در کشت مخلوط توسط لوبیا به جذب بیشتر تشعشع توسط ذرت در بالای کانوپی و ممانعت از رسیدن نور به پایین کانوپی بستگی دارد. پاندیتا و همکاران (Pandita et al., 2000) نیز در بررسی کشت مخلوط ذرت و ماش (*Vigna radiata* L.) بیان کردند که بیشترین سطح برگ ماش در تیمار کشت خالص آن بدست آمد.

تجمع مادهٔ خشک

در ابتدای دوره‌ی رشد، به دلیل کوچک بودن بوته‌ها، تفاوت چندانی بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط از نظر روند افزایش وزن خشک کل ذرت و لوبیا مشاهده نشد، ولی از حدود ۴۰ روز پس از سبز شدن، تجمع ماده‌ی خشک کل وارد مرحله‌ی رشد خطی شد و به سرعت شروع به افزایش نمود و در حدود ۹۰ روز پس از سبز شدن (مرحله‌ی رسیدن به حداکثر تجمع ماده‌ی خشک)، به بیشترین میزان خود رسید و سپس روند تقریباً ثابتی را در پیش گرفت (شکل ۲).

بدین ترتیب نتایج نشان داد که تجمع ماده‌ی خشک ذرت و لوبیا تحت تأثیر تیمارهای مختلف کشت مخلوط قرار گرفت، بطوری‌که در تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تیمار کشت خالص، ذرت دارای تجمع مادهٔ خشک بیشتری بود که این موضوع می‌تواند به علت جذب بیشتر نور توسط کانوپی کشت مخلوط باشد (شکل ۲). حسین-پناهی (Hossienpanahi, 2008) نیز افزایش تجمع مادهٔ خشک ذرت را در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی گزارش کرده است.

افزایش تجمع ماده خشک در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی را احتمالاً می‌توان به افزایش فراهمی نیتروژن از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط لوبیا نسبت داد.



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف کشت مخلوط بر روند تجمع ماده خشک (گرم بر متر مربع) کل ذرت (A) و لوبیا (B) طی روزهای پس از سبز شدن

Fig. 2- Effect of intercropping treatments on total dry weight accumulation ($g.m^{-2}$) of corn (A) and bean (B) at day after emergence

از آنجا که نیتروژن یکی از عناصر غذایی موثر بر میـزان فعالیـت آنزیم‌های فتوسنتزی و در نتیجه میزان تجمع ماده خشک گیاهان می-باشد (Zhang & Li, 2003)، بنابراین حضور لوبیا در کنار ذرت منجر به افزایش تجمع مادهٔ خشک کل در کانوپی کشت مخلـوط شـد، امـا برای لوبیا عدم سایه‌اندازی ذرت بر لوبیا و در نتیجه عدم وجود رقابـت بین گونه‌ای با آن برای کسب منابع در کشت خـالص باعـث افـزایش تجمع ماده خشک تولیدی در تیمار کشت خالص لوبیـا در مقایسـه بـا تیمارهای کشت مخلوط شد. لیندیکوئیست و مرتنسـن (Lindiquist & Mortensen, 1999) نیز در بررسی کشـت مخلـوط ذرت و لوبیـا بیان کردند کـه میـزان تشعشـع نفـوذی بـه درون کـانوپی در کشـت مخلوط نسبت به کشت خالص کاهش یافت کـه ایـن امـر منجـر بـه کاهش میزان تولید و تجمع ماده خشک در لوبیا شد.

روند جذب نور

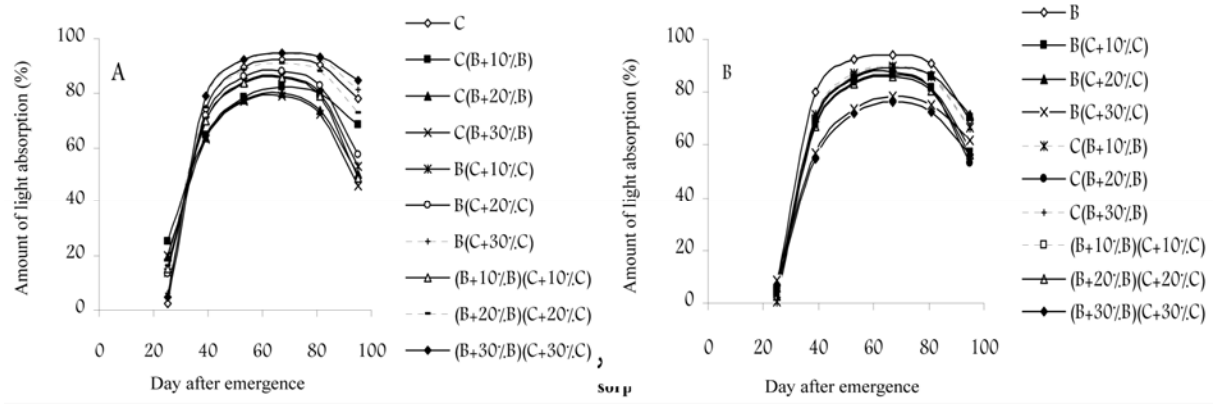
همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، متناسـب بـا افـزایش شاخص سطح برگ، میزان نور جذب شده توسط کانوپی ذرت، لوبیا در کشت خالص و مخلوط نیز به تدریج افزایش یافت و در حدود ۶۵ روز پس از سبز شدن به حداکثر میزان خود رسید، سپس به علت کـاهش شاخص سطح برگ تا انتهای دوره‌ی رشد، روند نزولـی داشـت. قابـل ذرک است که در مراحل انتهایی رشد، در تراکم بالاتر به دلیل رقابـت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای و ریزش سـریع‌تـر بـرگ‌هـا نسـبت بـه تراکم‌های پایین‌تر، جذب نور کاهش یافت.

کارآیی مصرف نور

در تمام تیمارهای کشت مخلوط، تجمـع مـاده‌ی خشـک ذرت و لوبیا با میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی، رابطه خطی داشت کـه شیب این خط بیانگر کارآیی مصرف نور می‌باشد (Monteith, 1977) و میانگین آن در طول فصل رشد برای ذرت از ۱/۹۲ گرم بر مگاژول در تیمارکشت خالص تا ۲/۳۰ گرم بر مگاژول در تیمارکشـت مخلـوط تراکم معمول ذرت با تراکم معمول لوبیا باضـافه ۳۰٪ لوبیـای بیشـتر، بود، که این تفاوت در میان تیمارهای مختلف معنی‌دار نبود (شـکل۴). افزایش فاصله ردیف‌های کاشت ذرت در تیمارهای مخلوط نسبت بـه تیمار تک کشتی، در طی فصل رشد باعث توزیع بهتر نـور در کـانوپی شد و بنظر می‌رسد که این مسئله منجر به افزایش کارآیی مصرف نور شد.

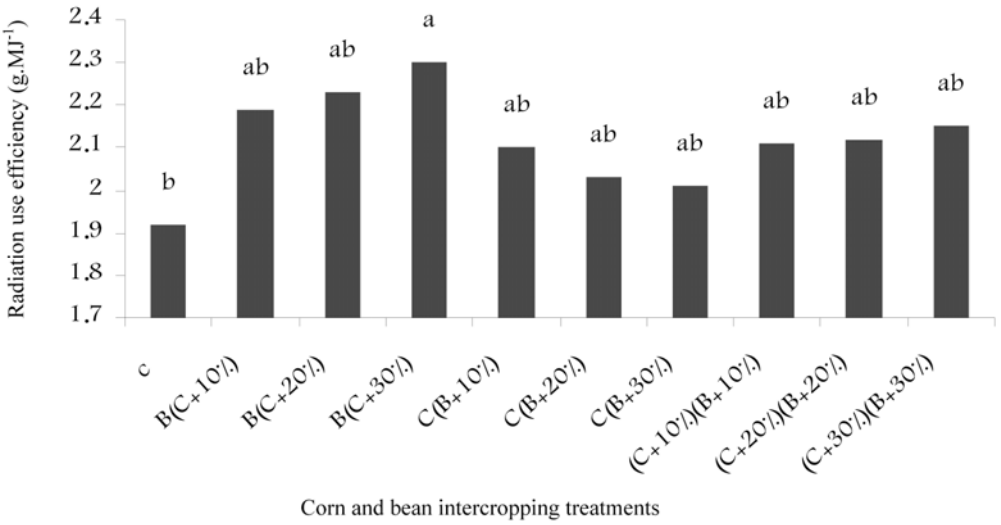
از آنجا که در کشت مخلوط ذرت با گیاهانی که ارتفاع کمتـری از ذرت دارند، ذرت گیاه غالب بوده و ساختار هندسی و میزان نور جـذب شده توسط آن تحت تأثیر گیاه همراه قرار نمی‌گیـرد (Awal et al., 2006)، این موضوع دور از انتظار نبود.

نتایج این بررسی همچنین نشان داد که کارآیی مصرف نور لوبیـا در طی فصل رشد، در تیمارکشت مخلوط با تراکم معمول لوبیا باضافه ۳۰٪ لوبیای بیشتر با تراکم معمول ذرت باضـافه ۳۰٪ ذرت بیشـتر از ۰/۷۲ گرم بر مگاژول تا ۱/۴۵گرم بر مگـاژول در تیمارکشـت خـالص لوبیا متغیر بود که این تفاوت در میان تیمارهای مختلف معنی‌دار نبـود (شکل ۵). از آنجا که کانوپی ذرت دارای حجـم و ارتفـاع بیشـتری در مقایسه با کانوپی لوبیا بـود، عـدم سـایه‌انـدازی ذرت بـر لوبیـا باعـث افزایش کارایی مصرف نور در تیمار کشـت خـالص لوبیـا شـد، امـا در تیمارهای مخلـوط بـا افـزایش تـراکم ذرت و تسـخیر بیشـتر نـور در قسمت‌های فوقـانی کـانوپی، رقابـت درون گونـه‌ای بوتـه‌هـای لوبیـا افزایش یافت و همراه با افزایش تـراکم آنهـا، باعـث کـاهش کـارآیی مصرف نور در لوبیا شد.



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف کشت مخلوط بر روند جذب نور (درصد) ذرت (A) و لوبیا (B) طی روزهای پس از سبز شدن

Fig. 3- Effect of intercropping treatments on light absorption (%) of corn (A) and bean (B) at after emergence

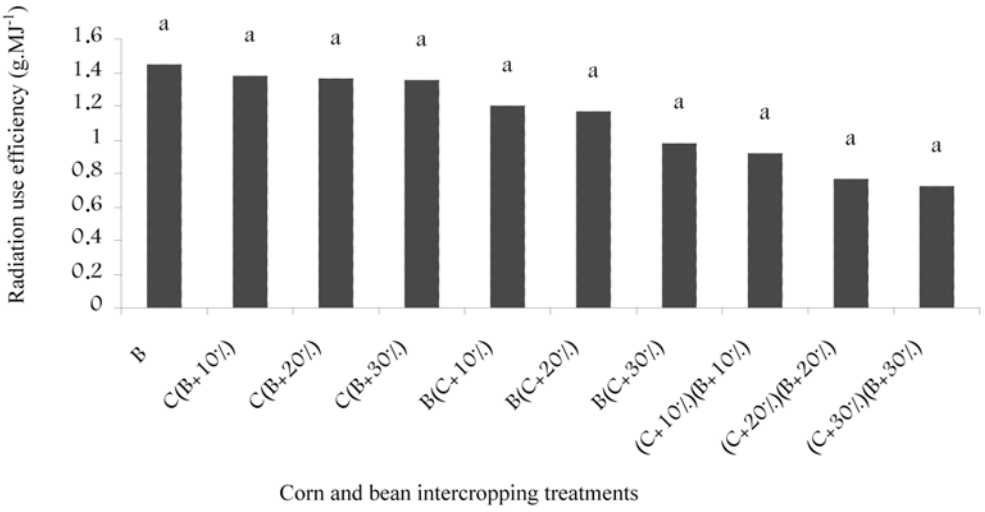


شکل ٤- اثر تیمارهای مختلف کشت مخلوط ذرت و لوبیا بر کارایی مصرف نور ذرت (گرم بر مگاژول)

Fig. 4- Effect of corn and bean intercropping treatments on corn radiation use efficiency ($g.MJ^{-1}$)

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letters in each component haven't significant difference based on Duncan's test at the 5% probability level.



شکل ٥- اثر تیمارهای مختلف کشت مخلوط ذرت و لوبیا بر کارایی مصرف نور لوبیا (گرم بر مگاژول)

Fig. 5- Effect of corn and bean intercropping treatments on bean radiation use efficiency ($g.MJ^{-1}$)

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letters in each component haven't significant difference based on Duncan's test at the 5% probability level.

بطور کلی، تولید ماده خشک درگیاهان، اغلب با مقدار تشعشع جذب شده توسط گیاه زراعی در تک کشتی (Monteilh, 1977) و در نظام‌های کشت مخلوط (Sinclair & Murhow, 1999) همبستگی مثبت دارد، در نتیجه یکی از راهکارهای مدیریت محصولات زراعی که می‌تواند باعث تغییر کارآیی مصرف نور در آنها شود، کشت مخلوط می‌باشد. محققان متعددی افزایش، کاهش و یاتاثیر ناچیز کشت مخلوط را بر کارایی مصرف نور گزارش کرده‌اند، اما آنچه که بسیار اهمیت دارد بهبود بهره‌وری تولید در نظام‌های مخلوط، در ارتباط با نور می‌باشد که این امر می‌تواند از طریق افزایش جذب تشعشع خورشیدی، کارایی مصرف نور یا ترکیبی از هر دو بهبود یابد (Awal et al., 2006; Zhang et al., 2008). در مجموع اعتقاد بر این است که کشت‌های مخلوط بیشتر به واسطه افزایش جذب نور، از طریق

افزایش طول دوره جذب نور یا پوشش بیشتر سطح خاک (Awal et al., 2006) سبب افزایش بهره‌وری نظام‌های زراعی می‌شوند. در زراعت‌های تک‌کشتی همواره مقادیری از تشعشع فتوسنتزی به دلیل وجود فضاهای خالی در بین گیاهان تلف می‌شود که مقدار این تلفات در زراعت‌های مخلوط به دلیل پوشش بیشتر گیاه بر سطح خاک کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

بطور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که کشت مخلوط ذرت و لوبیا منجر به بهبود شاخص سطح برگ، میزان جذب نور، تجمع مادهٔ خشک و کارآیی مصرف نور ذرت شد، که این موضوع نشان دهنده‌ی تأثیر مثبت لوبیا بر ذرت می‌باشد، در حالی‌که لوبیا به دلیل مغلوب بودن، نسبت به ذرت (به دلیل ارتفاع بلندتر، توزیع عمودی برگ‌ها و سرعت رشد بیشتر در ذرت) در جذب منابع موجود بویژه نور، در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تک کشتی کاهش داشت. از آنجا که این آزمایش در نظام کم نهاده اجرا شد، بنابراین، می‌توان چنین نتیجه گرفت که کشت مخلوط یکی از راهکارهای مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب علوفه یا دانه با حداقل مصرف یا بدون مصرف نهاده‌های خارجی می‌باشد.

منابع

1- Awal, M.A., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology 139: 74–83.
2- Baumann, D.T., Bastiaans, L., Goudriaan, J., VanLaar, H.H., and Kropff, M.J. 2002. Analyzing crop yield and plant quality in an intercropping system using an eco-physiological model for interplant competition. Agricultural Systems 73: 173-203.
3- Black, C., and Ong, C. 2000. Utilization of light and water in tropical agriculture. Agricultural and Forest Meteorology 104: 25–47.
4- Boons-prinz, E.R., De Koning, G.H.J., Van Diepen, C.D., and Penning De Vries, F.W.T. 1993. Crop specific simulation parameters for yield forecasting across the European Community. Simulation Reports, CABO-TT, No. 32.
5- Corlett, J.E., Black, C.R., Ong, C.K., and Monteith, J.L. 1992. Above- and below-ground interactions in a leucaena/millet alley cropping system. II. Light interception and dry matter production. Agricultural and Forest Meteorology 60: 73–91.
6- Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, Z., Liu, H., and Liu, Z. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. Field Crops Research 111: 65-73.
7- Goudriaan, J., and Van Laar, H.H. 1993. Modeling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press 239 pp.
8- Hossienpanahi, F. 2008. Evaluation of yield and component yield in the corn and potato intercropping. M.Sc. Thesis Faculty Agriculture Ferdowsi University, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
9- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S. 2008. Evaluation of radiation interception and use efficiency by maize and been intercropping canopy. Agroecology 1: 23-31. (In Persian with English Summary)
10- Lindiquist, J.L., and Mortensen, D.A. 1999. Ecophysiological characteristics of four maize hybrids and *Abutilon theophrasti*. Weed Research 39: 271- 285.
11- Mondani, F., Golzardi, F., Ahmadvand, G., Sepehri, A., and Jahedi, A. 2007. The effect of weed infestation periods on light absorption and use efficiency by canopy of seed producing and commercial plant density of potato (*Solanum tuberosum*). Agricultural Research (Water, Soil and Plant Agriculture) 7: 7-26. (In Persian with English Summary)
12- Monteith, J.L. 1977. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. Journal of Applied Ecology 9: 747-766.
13- Mukhala, E., Juger, J.M., and Vanrensburg, L.D. 1999. Dietary nutrient deficiency in small-scale farming communities in South Africa benefits of intercropping maize and beans. Nutrition Research 19: 629-641.
14- Nachigera, G.M., Ledent, J.F., and Draye, X. 2008. Shoot and root competition in potato/maize intercropping: effects on growth and yield. Environmental and Experimental Botany. 64: 180-188.
15- Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Beheshti, A. 2001. Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran 453 pp. (In Persian)
16- Pandita, A.K., Saha, M.H., and Bail, A.S. 2000. Effect of row ratio in cereal-legume intercropping systems on productivity and competition functions under Kashmir conditions. Indian Journal of Agronomy 45:48-53.
17- Rowe, E.C., Noordwijk, M.V., Suprayogo, D., and Cadisch, G. 2005. Nitrogen use efficiency of monoculture and hedgerow intercropping in the humid tropics. Plant and Soil 268: 61–74.

18- Sinclair, T.R., and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. Advances in Agronomy 65: 215-265.
19- Tsubo, M., Walker, S., and Mukhala, E. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. Field Crops Research 71: 17–29.
20- Tsubo, M., and Walker, S. 2002. A model of radiation interception and use by a maize–bean intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology 110: 203–215.
21- Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H.O. 2005. A simulation model of cereal–legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crops Research 93: 10-22.
22- Zhang, F., and Li, L. 2003. Using competitive and facilitative interaction in intercropping systems enhances crops productivity and nutrient-use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312.
23- Zhang, L., Vander Werf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B., and Spiertz, J.H. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research 107: 29-42.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، ص. ۳۰۸-۲۹۸

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 298-308

تأثیر روش‌های مختلف افزایش حاصلخیزی خاک از طریق افزودن کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیکی بر عملکرد و کیفیت دانه کلزا (*Brassica napus* L.)

خسرو محمدی[1*]، امیر قلاوند[2]، مجید آقا علیخانی[3] و اسعد رخزادی[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۳

چکیده

منابع مختلف کودی بر عملکرد دانه، درصد روغن و کیفیت دانه تأثیر می‌گذارند. اطلاعات تأثیر همزمان منابع کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک در زراعت کلزا (*Brassica napus* L.) در دسترس نمی‌باشد. به منظور بررسی تأثیر روش‌های افزایش حاصلخیزی خاک بر عملکرد کمی و کیفیت دانه کلزا رقم طلایه، یک آزمایش مزرعه‌ای در دو سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ و ۸۸-۱۳۸۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گریزه سنندج انجام گردید. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. شش راهبرد تأمین کود پایه شامل کود دامی (N_1)، کمپوست (N_2)، کود شیمیایی (N_3)، کمپوست+ کود دامی (N_4)، کمپوست+ کود دامی+ کود شیمیایی (N_5) و شاهد (N_6) به عنوان سطوح عامل اصلی تعیین شدند و چهار ترکیب کودهای زیستی شامل: باکتری باسیلوس و سودوموناس (B_1)، قارچ *تریکودرما* (B_2)، باکتری باسیلوس و سودوموناس + قارچ *تریکودرما* (B_3) و شاهد (بدون قارچ و باکتری) (B_4) به عنوان سطوح عامل فرعی انتخاب شدند. نتایج نشان داد که منابع مختلف کود پایه و زیستی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه دارد. بیشترین عملکرد دانه در تیماری که کودهای آلی و شیمیایی به طور همزمان مورد استفاده قرار گرفته بود (N_5) حاصل گردید. کلروفیل برگ به طور معنی‌داری تحت تأثیر روش‌های مختلف کوددهی قرار گرفت. بیشترین میزان نیتروژن دانه (۴۲/۸۵ میلی‌گرم در گرم) و کمترین نسبت (N/S) در تیمار N_5 به دست آمد. بیشترین درصد روغن در تیمار (N_1) و (N_2) بیشترین عملکرد روغن در تیمار (N_5) حاصل گردید. در نهایت کاربرد کودهای آلی و بیولوژیک در کنار کود شیمیایی باعث بهبود عملکرد و کیفیت دانه کلزا گردید.

واژه‌های کلیدی: کمپوست، کود دامی، کود زیستی، روغن

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی می‌باشد. فاکتورهای متعددی کمیت و کیفیت دانه کلزا را تحت تأثیر قرار می‌دهند. نحوهٔ تغذیه کلزا یکی از عوامل تأثیر گذار بر عملکرد دانه، درصد روغن و کیفیت دانه آن می‌باشد. روغن کلزا تنها روغن خوراکی است که حاوی اسیدهای چرب گوگرد دار است. قسمت عمدهٔ ترکیب اسیدهای چرب روغن کلزا را اسیدهای چرب غیر اشباع تشکیل می‌دهد (Ohara et al., 2009). استفاده از کودهای شیمیایی معدنی سریعترین راه برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان می‌باشد، اما هزینه‌های زیاد مصرف کودهای شیمیایی، ایجاد آلودگی، تخریب محیط زیست و خاک نگران‌کننده می‌باشد. این در حالی است که توسعهٔ کاربرد منابع گیاهی و دامی قابل تجدید و منابع بیولوژیک به جای منابع شیمیایی می‌تواند نقش مهمی در باروری و حفظ فعالیت‌های بیولوژیک، مواد آلی خاک، سلامت بوم نظام زراعی و افزایش کیفیت محصولات زراعی داشته باشد (Zaidi et al., 2003). مواد آلی به علت اثرات سازنده‌ای که بر خصوصیات فیزیکی و بیولوژیک خاک دارند به عنوان یکی از ارکان تغذیه‌ای گیاه و باروری خاک شناخته شده‌اند. کودهای آلی مهم‌ترین عامل فراهمی ماده آلی در ریزوسفر گیاه می‌باشند (Tejada et al., 2008). کودهای دامی و کمپوست علاوه بر نقش تغذیه‌ای، در بهبود کیفیت محصولات، خواص فیزیکی و افزایش فعالیت بیولوژیک خاک تأثیر معنی‌داری دارند. استفاده از کمپوست و کودهای دامی به افزایش ماده آلی، عناصر معدنی، بهبود ساختمان خاک و عملکرد دانه منتهی می‌شود (Mohammadi et al., 2007; Courtney & Mullen, 2008). استفاده از کمپوست به افزایش طول ریشه، ماده خشک کل، جذب نیتروژن و عملکرد دانه کلزا منجر می‌گردد (Keeling et al., 2003).

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استادیار گروه زراعت دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج، دانشیار و استادیار گروه زراعت دانشگاه تربیت مدرس
(*- نویسنده مسئول: E-mail: kh.mohammadi@modares.ac.ir)

فسفر یکی از عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان زراعی است که قابلیت جذب آن به دلیل تثبیت توسط یون‌های معدنی نظیر آلومینیوم، آهن در خاک‌های اسیدی و کلسیم در خاک‌های قلیایی به شدت کاهش می‌یابد (Gaur et al., 1980). باکتری‌های *Pseudomonas putida* و *Bacillus lentus* باعث آزادسازی فسفات از ترکیبات معدنی می‌گردند (Gaur et al., 1980; Rudresh et al., 2005). جوتور و ردی (Jutur & Reddy, 2007) تأثیر مثبت این باکتری‌ها در حلالیت فسفر را به اثبات رساندند. علاوه بر توانایی حل کنندگی فسفات، این باکتری‌ها با خاصیت ضدپاتوژنی باعث کاهش بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک و تحریک رشد رویشی گیاه نیز می‌شوند (El-Komy, 2005; Rosas et al., 2006). حدود ۵ تا ۱۰ درصد عملکرد محصولات مختلف زراعی تحت تأثیر عوامل بیماری‌زا کاهش می‌یابد (Verma et al., 2007). در حال حاضر قارچ *Trichoderma* sp. به عنوان یک قارچ‌کش زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Elad, 2000). این کود زیستی علاوه بر مبارزه بیولوژیک بر علیه پاتوژن‌ها به عنوان یک محرک رشد نیز محسوب می‌گردد. دوبی و همکاران (Dubey et al., 2007) نشان دادند که ایزوله‌های مختلف قارچ *تریکودرما* علاوه بر کاهش خسارت ناشی از فوزاریوم باعث افزایش رشد نیز می‌گردند. وجود این قارچ از طریق رقابت بر سر عناصر غذایی و ترشح آنزیم‌هایی نظیر سلولاز، همی‌سلولاز و پروتئاز و متابولیت‌های ثانویه موجب کاهش جمعیت پاتوژن‌ها می‌گردد. اثرات آنتاگونیستی این قارچ با عوامل بیماری‌زای مختلفی مانند: *Rhizoctonia solani*, *Crinipellis perniciosa*, *Fusarium* sp., *Bacteroides fragilis*, *Colletotrichum truncatum* اثبات گردیده است (Verma et al., 2007). در این آزمایش نیز تأثیر منابع مختلف کودی آلی و زیستی بر عملکرد و کیفیت دانه کلزا ارزیابی شد، تا بتوان بر اساس آن مدیریت مناسب کوددهی را در زراعت کلزا اعمال نمود و امکان جایگزینی نهاده‌های آلی و بیولوژیک به جای کودهای شیمیایی بررسی شود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ و ۸۸-۱۳۸۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گریزه (استان کردستان) به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. کود پایه در شش سطح شامل: ۲۰ تن کود دامی در هکتار (N_1)، ۱۰ تن کمپوست زباله شهری درهکتار (N_2)، کود شیمیایی شامل ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل + ۱۵۰ کیلوگرم اوره و ۵۰ کیلو گرم سولفات پتاسیم در هکتار (N_3)، ۵ تن کمپوست زباله شهری + ۱۰ تن کود دامی (N_4) و پنج تن کمپوست زباله شهری + ۱۰ تن کود دامی + ۵۰ کیلو گرم سوپر فسفات تریپل + ۷۵ کیلو گرم اوره+ ۲۵ کیلو گرم سولفات پتاسیم در هکتار (N_5) و تیمار شاهد (N_6) به عنوان عامل اصلی تعیین شدند. همچنین چهار ترکیب کود زیستی شامل باکتری *باسیلوس لنتوس* و *سودوموناس پوتیدا* (B_1)، قارچ *تریکودرما هارزیانوم* (B_2)، باکتری باسیلوس و سودوموناس + قارچ *تریکودرما* (B_3) و تیمار شاهد بدون تلقیح با قارچ و باکتری (B_4) به عنوان سطوح عامل فرعی در نظر گرفته شدند.

به منظور آگاهی از وضعیت عناصر غذایی در واحدهای آزمایشی قبل از کشت در هر دو سال از خاک محل انجام آزمایش نمونه برداری به عمل آمد و در آزمایشگاه تجزیهٔ خاک و آب استان کردستان آنالیز گردید (جدول ۱). در این آنالیز نیتروژن کل با استفاده از روش کجلدال (Bremner & Mulvaney, 1982)، فسفر قابل جذب به روش اولسن و همکاران (Olsen et al., 1954)، بافت خاک بر اساس روش هیدرومتر (Gee & Bauder, 1979)، EC و pH عصاره اشباع خاک بر اساس روش اسمیت و دوران (Smith & Doran, 1996.) و پتاسیم قابل جذب با استفاده از عصاره گیر استات آمونیوم و بر اساس روش کارتر (Carter, 1993) اندازه گیری شد. کود دامی و کمپوست مورد استفاده قبل از مصرف بر اساس روش کارتنی و مولن (Courtney & Mullen, 2008) تجزیه گردید تا درصد عناصر آن مشخص گردد (جدول ۲). بذر کلزا رقم طلایه با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر، در خطوطی به طول هشت متر در تاریخ ۲۰ شهریور در سال اول و ۲۵ شهریور در سال دوم کشت گردید. آبیاری به روش بارانی و زمان آن بر اساس ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A تعیین گردید.

جهت تلقیح هر کیلوگرم بذر کلزا با ۷۰۰ میلی‌لیتر آب و ۲۰۰ گرم شکر مرطوب گردید و سپس باکتری و قارچ به آن اضافه شد و پس از خشک شدن در سایه کشت گردید. باکتری‌های *Bacillus lentus* سویهٔ P_5 و *Pseudomonas putida* سویهٔ P_{13} از شرکت زیست فناور سبز (کود بارور ۲ که حاوی 10^8 اندام فعال باکتری در هر گرم[1] بود) و قارچ *Trichoderma harzianum* سویهٔ T_{39} از موسسه تحقیقات گیاهپزشکی وزارت جهاد کشاورزی تهیه گردید. در پایان فصل عملکرد دانه در تمام واحدهای آزمایشی اندازه‌گیری شد. نیتروژن دانه با استفاده از روش کجلدال و گوگرد دانه با روش سدیم پراکسید و بر اساس استانداردهای ای‌اُی‌سی (AOAC, 1998) اندازه‌گیری شد. محتوی روغن دانه با استفاده از روش استاندارد سوکسله و به کمک حلال متانول-کلروفرم تعیین گردید. تعیین ترکیب اسیدهای چرب به وسیله دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل IGO 120 DFL انجام گرفت (Ahmad & Abdin, 2000). محتوی کلروفیل برگ در مرحلهٔ گل‌دهی با استفاده از دستگاه Spad-520 ساخت کمپانی مینولتای ژاپن تعیین گردید.

1- $CFU.g^1$

جدول ۱- تجزیهٔ فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از کاشت

Table 1- Physical and chemical analysis of soil before sowing

سال Year	بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	نیتروژن کل Total nitrogen	فسفر قابل استفاده Available phosphorus	پتاسیم قابل استفاده Available potassium
				(٪)				(ppm)	
اول The first	Clay loam	1.2	7.55	27	42	31	0.11	9.2	295
دوم The second	Clay loam	1.15	7.60	28	42	30	0.14	9.4	307

جدول ۲- ترکیبات موجود در کود دامی و کمپوست مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Compositions of manure and compost used in the experiment

	اسیدیته pH	نیتروژن Nitrogen	فسفر Phosphorus	پتاسیم Potassium	کلسیم Calcium	منیزیم Magnesium	روی Zinc	سولفات Sulfur	مس Copper
			(٪)				(ppm)		
کود دامی Manure	7.45	0.74	0.49	0.31	745	1100	23	659	27
کمپوست Compost	7.20	0.70	1.15	0.51	1950	1890	42	1898	292

داده‌های حاصل از نمونه‌برداری‌ها برای سهولت در محاسبه‌های ریاضی در صفحات گسترده برنامهٔ Excel ثبت شدند و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها مطابق روش تجزیه واریانس (PROC ANOVA) از برنامهٔ آماری SAS ver. 9.1 استفاده شد (SAS, 2003). مقایسهٔ میانگین‌های صفات نیز به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن (سطح احتمال پنج درصد) انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که منابع مختلف کود پایه و زیستی تأثیر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر عملکرد دانه داشت (جدول ۳). به طوری که در مقایسهٔ میانگین‌ها (جدول ۴) مشخص شد که تیمار N_5 نسبت به سایر تیمارها از نظر عملکرد دانه اختلاف آماری معنی‌داری داشت. در توجیه این مطلب می‌توان اظهار داشت که به موازات رفع نیاز فسفر و نیتروژن گیاه توسط کود شیمیایی اضافه نمودن کود دامی و کمپوست باعث فراهمی عناصر کم مصرف برای گیاه گردید. ارهارت و هارتل (Erhart & Hartl, 2003) نشان دادند که استفاده از کمپوست باعث افزایش فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم قابل دسترس گیاه می‌گردد. از طرف دیگر، کمپوست مورد استفاده در این آزمایش حاوی درصد گوگرد (S) نسبتاً بالایی بود. گوگرد از جمله عناصری است که کلزا نسبت به آن عکس‌العمل مثبت نشان می‌دهد (Zhao et al., 1997). اضافه نمودن کودهای آلی علاوه بر تأمین عناصر غذایی با بهبود خواص فیزیکی خاک شرایط مناسبی را برای رشد و توسعه ریشه فراهم می‌نمایند (Mohammadi et al., 2007). بنابراین کاربرد کودهای آلی نظیر کود دامی و کمپوست باعث بهبود خواص فیزیکی خاک و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌گردد (Hati et al., 2006) و فضای مناسب برای رشد و توسعه ریشه فراهم می‌گردد. در بررسی اثرات متقابل سال × کودهای پایه (جدول ۵) مشخص شد که در سال اول تفاوتی از نظر آماری بین تیمارهای N_3 و N_4 وجود نداشت، اما در سال دوم کاربرد همزمان کود دامی و کمپوست باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به تیمار کاربرد کود شیمیایی گردید. به نظر می‌رسد که با توجه به آزاد سازی تدریجی عناصر غذایی موجود در کودهای آلی، کارایی آن‌ها با گذشت زمان افزایش می‌یابد.

در مقایسهٔ میانگین کودهای زیستی مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه در تیماری که قارچ و باکتری به طور همزمان مورد استفاده قرار گرفته بود (B_3) حاصل گردید (جدول ۴). باکتری‌های حل کننده فسفات با ترشح اسیدهای آلی و فسفاتاز باعث آزاد سازی عناصر از کمپلکس‌های موجود در خاک می‌گردند و دسترسی گیاه به عناصر غذایی افزایش پیدا می‌کند (Jutur & Reddy, 2007; Rudresh et al., 2005; Mohammadi et al., 2009). جونز و داراه (Jones & Darrah, 1996) نیز در آزمایش خود نشان دادند که

اسیدهای آلی آزاد شده از ریز جاندارانی نظیر باسیلوس و سودوموناس علاوه بر فسفر، باعث آزادسازی منگنز، روی، آهن و منیزیم از کمپلکس‌های موجود در خاک می‌گردند. آنان اظهار داشتند که حلالیت فسفات در خاک در حضور اسیدهای آلی تا ۱۰۰۰ برابر افزایش می‌یابد. بنابراین، فراهمی مواد غذایی بر اثر وجود کودهای زیستی یکی از دلایل افزایش عملکرد می‌باشد. ستار و گاور (Sattar & Gaur, 1987) نیز افزایش عملکرد و تحریک رشد را به علت تولید اکسین و جیبرلین توسط باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات گزارش نمودند. حالت آنتاگونیستی قارچ *تریکودرما* با اغلب عوامل بیماری‌زا در آزمایش‌های متعددی گزارش شده است (Verma et al., 2007; Dubey et al., 2007; Vinale et al., 2008). افزایش عملکرد دانه را می‌توان به کاهش عوامل بیماری‌زا ناشی از کاربرد قارچ *تریکودرما* نسبت داد. از طرف دیگر، بیشتر استرین‌های *تریکودرما*، محیط اطراف را به وسیلهٔ ترشح اسیدهای آلی مثل اسید گلوکونیک، اسید فوماریک و اسید سیتریک، اسیدی می‌کنند. این اسیدهای ارگانیک قادر به حل فسفات، کاتیون‌های ریزمغذی شامل آهن، منگنز و منیزیم می‌باشند، بنابراین استفاده از قارچ *تریکودرما* باعث افزایش حاصلخیزی خاک و در نتیجه افزایش تولید محصول می‌گردد. به نظر می‌رسد که وجود باکتری‌های آزاد کننده فسفر با افزایش دسترسی به عناصر غذایی و قارچ *تریکودرما* با کاهش عوامل بیماری‌زا و تنش‌زا به افزایش تعداد غلاف بارور و عملکرد دانه منجر شده است.

رودرش و همکاران (Rudresh et al., 2005) نیز در آزمایش خود نشان دادند که کاربرد همزمان باکتری‌های حل کنندهٔ فسفات و قارچ *تریکودرما* باعث افزایش جذب عناصر غذایی و عملکرد دانه می‌گردد. یافته‌های فرناندو و همکاران (Fernando et al., 2007) نیز نشان داد که باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس با کنترل بیولوژیک بیماری اسکلروتینیا در کلزا باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد. وجود رطوبت و عناصر غذایی و عدم وجود پاتوژن‌ها از مهم‌ترین عوامل باروری غلاف و تولید دانه می‌باشند (Vinale et al., 2006; Rai & Takabe, 2006). بدیهی است مساعد نمودن شرایط برای فعالیت باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ *تریکودرما* توسط کودهای آلی یکی از فاکتورهای افزاینده عملکرد دانه محسوب می‌گردد.

جدول ۳ - تجزیهٔ واریانس مرکب (میانگین مربعات) عملکرد دانه و برخی صفات کیفی کلزا

Table 3- Combined analysis of variance (means of squares) of canola grain yield and some qualitative traits

منابع تغییرات S.O.V	درجهٔ آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	کلروفیل Chlorophyll	نیتروژن دانه Grain N	گوگرد دانه Grain S	نسبت نیتروژن به گوگرد N/S ratio
سال Year	1	193.7^{ns}	0.038^{ns}	0.021^{ns}	0.016^{ns}	0.8^{ns}
بلوک (سال) Block (year)	4	511^{ns}	0.0036^{ns}	0.31**	0.002^{ns}	0.066^{ns}
کود پایه Basal fertilizer	5	2390201**	442.5**	1127.1**	43.73**	64.49**
کود پایه × سال year×Basal fertilizer	5	131682**	0.67^{ns}	0.08^{ns}	0.145*	0.8^{ns}
خطای اصلی Main error	20	15152	0.037	0.027	0.028	0.23
کود زیستی Biofertilizer	3	109555**	10.21**	10.04**	0.39**	0.69**
کود زیستی × پایه Basal × Biofertilizer	15	1132^{ns}	0.04^{ns}	0.01^{ns}	0.007^{ns}	0.102^{ns}
کود زیستی× سال Year × Biofertilizer	3	1529^{ns}	0.092^{ns}	0.044^{ns}	0.004^{ns}	0.024^{ns}
کود زیستی × پایه× سال year× basal×biofertilizer	15	2794^{ns}	0.077^{ns}	0.013^{ns}	0.003^{ns}	0.028^{ns}
خطای فرعی Sub error	72	2200	0.029	0.065	0.003	0.065

^{ns} ، * و ** به ترتیب نشانه معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

ns, * and ** are Non- significant and significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ٤ - مقایسهٔ میانگین‌های عملکرد دانه و برخی صفات کیفی کلزا

Table 4- Means comparisons of canola grain yield and some qualitative traits

تیمار Treatment	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	کلروفیل برگ (عدد اسپد) Leaf Chlorophyll (Spad reading)	نیتروژن دانه (میلی‌گرم در گرم) Grain N ($mg.g^{-1}$)	گوگرد دانه (میلی‌گرم در گرم) Grain S ($mg.g^{-1}$)	نسبت نیتروژن به گوگرد N/S ratio
کود پایه Basal fertilizer					
کود دامی (N_1) Manure (N_1)	2405.6 d*	30.10 e	28.33 e	3.06 d	9.25 b
کمپوست (N_2) Compost (N_2)	2629.1 c	30.76 d	30.74 d	3.35 c	9.17 b
کود شیمیایی (N_3) Chemical fertilizer (N_3)	3161.6 b	34.28 b	40.93 b	5.18 b	7.90 c
دامی + کمپوست (N4) Manure + compost (N_4)	3115.0 b	30.88 c	37.87 c	4.98 b	8.06 c
شیمیایی+دامی+کمپوست (N5) Chemical + Manure + Compost (N_5)	4169.4 a	37.91 a	42.85 a	5.67 a	7.55 d
شاهد (N_6) Control (N_6)	1158.0 e	25.14 f	26.74 f	2.23 e	12.02 a
کود زیستی Biofertilizer					
باکتری‌های حل کننده فسفات (B_1) Phosphate solubilizing bacteria (B_1)	2795.4 b*	31.63 b	34.79 b	4.06 b	8.97 b
قارچ *تریکودرما* (B_2) *Trichoderma* fungi (B_2)	2805.1 b	31.57 b	34.67 b	4.02 c	9.04 ab
باکتری+قارچ (B_3) Bacteria + fungi (B_3)	2956.4 a	32.05 a	35.03 a	4.16 a	8.81 c
شاهد (B_4) Control (B_4)	2536.1 c	30.78 c	33.81 c	3.89 d	9.14 a

*میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشد.

*Mean values in each column with the same superscript(s) do not differ significantly by DMRT (P = 0.05).

کلروفیل برگ

بر اساس تجزیهٔ واریانس داده‌ها (جدول ۳) کلروفیل برگ به طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) تحت تأثیر روش‌های مختلف کوددهی قرار گرفت، اما میزان کلروفیل در دو سال مختلف اجرای آزمایش اختلاف معنی‌داری نداشت. مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که استفادهٔ همزمان از باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ *تریکودرما* باعث افزایش کلروفیل برگ گردید (جدول ۴). راجندران و همکاران (Rajendran et al., 2008) نیز در آزمایش خود مشاهده کردند که استفاده همزمان از باکتری *ریزوبیوم* و *باسیلوس* به افزایش محتوی کلروفیل برگ منجر می‌گردد. یافته‌های رودرش و همکاران (Rudresh et al., 2005) نشان داد که کاربرد همزمان باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ *تریکودرما* باعث افزایش نیتروژن و کلروفیل برگ گردید. به نظر می‌رسد که فراهمی فسفر تأثیر معنی‌داری بر افزایش کلروفیل برگ داشته است. کمبود فسفر باعث کاهش کلروفیل برگ و فلورسانس آن می‌گردد (Lima et al., 1999). در مقایسهٔ میانگین‌ها بین سطوح کودهای پایه مشخص شد که بیشترین میزان کلروفیل در تیمار N_5 ایجاد گردید. پس از تیمار N_5، تیمار N_3 به طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها برتر بود (جدول ۴). فراهمی عناصر معدنی نظیر آهن، منیزیم و منگنز با کاربرد توأم کمپوست و کود دامی و نیتروژن و گوگرد توسط کود شیمیایی می‌تواند یکی از دلایل افزایش کلروفیل برگ در این تیمارها باشد. با توجه به نقش کلیدی عناصری مانند نیتروژن، آهن و منیزیم در ساختمان کلروفیل، به نظر می‌رسد که تأمین این عناصر دلیل اصلی افزایش کلروفیل برگ باشد. همبستگی مثبت بین افزایش فراهمی نیتروژن و میزان کلروفیل برگ در مطالعات مختلفی گزارش شده است (Ding et al., 2005; DaMatta et al., 2002).

جدول ۵ - مقایسهٔ میانگین عملکرد و گوگرد دانه کلزا تحت تأثیر برهمکنش سال و کودهای پایه

Table 5- Means comparison of grain yield and sulfur affected by interaction of year and basal fertilizers

سال Year	کود پایه Basal fertilizer	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	گوگرد دانه (میلی‌گرم در گرم) Grain S ($mg.g^{-1}$)
اول First	کود دامی (N_1) Manure (N_1)	2336.6 c*	3.05 d
	کمپوست (N_2) Compost (N_2)	2585.8 c	3.33 d
	کود شیمیایی (N_3) Chemical fertilizer (N_3)	3091.5 b	5.20 b
	دامی + کمپوست (N_4) Manure + compost (N_4)	3162.6 b	4.66 c
	شیمیایی+دامی+کمپوست (N_5) Chemical + Manure + Compost (N_5)	4155.6 a	5.72 a
	شاهد (N_6) Control (N_6)	1300.4 d	2.15 e
دوم Second	کود دامی (N_1) Manure (N_1)	2474.6 d	3.07 c
	کمپوست (N_2) Compost (N_2)	2672.4 d	3.36 c
	کود شیمیایی (N_3) Chemical fertilizer (N_3)	3038.3 c	5.15 b
	دامی + کمپوست (N_4) Manure + compost (N_4)	3160.4 b	4.83 b
	شیمیایی+دامی+کمپوست (N_5) Chemical + Manure + Compost (N_5)	4183.2 a	5.62 a
	شاهد (N_6) Control (N_6)	1017.1 e	2.30 d

*میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

*Mean values in each column with the same superscript(s) do not differ significantly by DMRT (P = 0.05).

نیتروژن و گوگرد

تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که کودهای پایه تأثیر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر نیتروژن (N)، گوگرد (S) دانه و نسبت نیتروژن به گوگرد (N/S) دانه دارد (جدول ۳). اثر متقابل کودهای پایه و سال نیز تأثیر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر گوگرد دانه داشت. در مقایسهٔ میانگین‌ها مشخص شد که بیشترین میزان نیتروژن دانه (۴۲/۸۵ میلی‌گرم در گرم) در تیمار N_5 به دست آمد. در بیان علت آن می‌توان اظهار داشت که کمپوست و کود دامی در کنار کودهای شیمیایی باعث فراهمی بیشتر نیتروژن می‌گردند، علاوه بر این، کاربرد کودهای آلی باعث افزایش فعالیت آنزیمی و میکروبی خاک و افزایش فراهمی نیتروژن برای گیاه می‌گردد (Hatch et al., 2007). همچنین کمپوست مورد استفاده حاوی درصد گوگرد قابل توجهی بود که باعث افزایش معنی‌دار فراهمی و جذب گوگرد دانه نسبت به تیمار کود دامی گردید. بررسی اثر متقابل سال × کود پایه مشخص شد که میزان گوگرد دانه در تیمار N_4 در سال دوم افزایش یافت. یافته‌های ساهنی و همکاران (Sahni et al., 2008) نشان داد که کاربرد کمپوست درصد گوگرد و نیتروژن دانه را افزایش می‌دهد. میزان گوگرد دانه در تیمار ترکیب کود دامی و کمپوست (N_4) اختلاف معنی‌داری با تیمار کود شیمیایی (N_3) نداشت (جدول ۴). کمترین نسبت (N/S) در تیمار N_5 مشاهده گردید. این تیمار دارای بیشترین عملکرد دانه نیز بود. نسبت نیتروژن به گوگرد یک پارامتر ژنتیکی محسوب می‌گردد، ولی عوامل محیطی و تغذیه‌ای نیز روی این نسبت تأثیر گذارند (Zhao et al., 1998). افزایش این نسبت تا حدی برای گیاه مطلوب می‌باشد، در کلزا افزایش این نسبت باعث بروز علائم کمبود گوگرد در گیاه می‌گردد (Barker & Pilbeam, 2007).

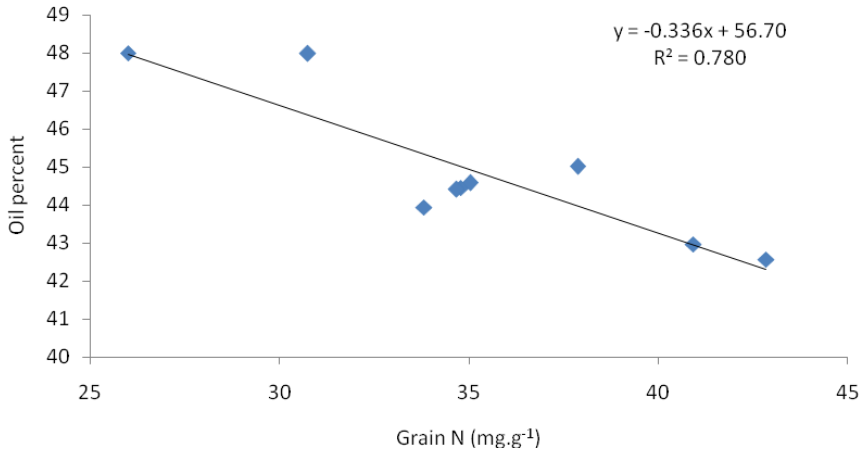
نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که افزایش بیش از حد نسبت نیتروژن به گوگرد دانه در کلزا عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Zhao et al., 1997). علاوه بر این، گوگرد نقش مهمی در

متابولیسم اسیدهای چرب، اسیدهای آمینه گوگرد دار و کلروفیل برگ دارد و می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانه گردد (Barker & Pilbeam, 2007). بنابراین می‌توان یکی از دلایل کاهش عملکرد در این تیمار را به افزایش نسبت (N/S) مرتبط دانست. کودهای زیستی نیز تأثیر معنی‌داری بر نیتروژن، گوگرد و نسبت (N/S) دانه داشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد همزمان باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ *تریکودرما* باعث افزایش نیتروژن و گوگرد دانه و کاهش نسبت (N/S) گردید. به نظر می‌رسد که ترشح اسیدهای آلی توسط این میکروارگانیسم‌ها و آزاد سازی این عناصر غذایی از ترکیبات مختلف در خاک، مهمترین دلیل افزایش گوگرد و نیتروژن دانه باشد. نتایج مذکور با یافته‌های ساهنی و همکاران (Sahni et al., 2008) مطابقت دارد. آنان اظهار داشتند که کاربرد باکتری سودوموناس میزان نیتروژن، گوگرد، آهن و منگنز دانه را افزایش می‌دهد.

روغن دانه و ترکیب اسیدهای چرب

نتایج نشان داد که کودهای پایه و زیستی تأثیر معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۱$) بر درصد روغن و عملکرد روغن دانه داشتند (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد روغن در تیمار (N_1) و (N_2) بیشترین عملکرد روغن در تیمار (N_5) حاصل گردید (جدول ۷). در این تیمار کاربرد کود دامی و کمپوست در کنار کودهای شیمیایی باعث افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه گردید و کمترین درصد روغن در این تیمار گزارش گردید ولی به دلیل داشتن بیشترین عملکرد دانه، عملکرد روغن این تیمار در واحد سطح از سایر تیمارهای آزمایش بیشتر گردید. گزارش‌های متعددی در مورد کاهش درصد روغن دانه کلزا با افزایش نیتروژن وجود دارد (Hocking et al., 2002; Bilsborrow et al., 1993). در این مطالعه نیز همبستگی بالایی بین درصد روغن و نیتروژن دانه مشاهده گردید (شکل ۱). کاربرد کود دامی و کمپوست به صورت منفرد باعث افزایش درصد روغن دانه کلزا گردید، ولی عملکرد روغن را افزایش معنی‌داری نداد، اما کاربرد توأم کود دامی و کمپوست عملکرد روغن را نسبت به تیمار کود شیمیایی به صورت معنی‌داری افزایش داد. بیشترین عملکرد و درصد روغن در ترکیب همزمان باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ *تریکودرما* حاصل گردید.

با توجه به این‌که میزان روغن دانه یکی از مهم‌ترین صفات کیفی دانه کلزا محسوب می‌گردد، بنابراین می‌توان اظهار داشت که کاربرد کودهای آلی و زیستی باعث افزایش کیفیت دانه کلزا گردیده است. کودهای پایه تأثیر معنی‌داری بر اسیدهای چرب امگا ۶ یا اسید لینولئیک (۱۸:۲) و امگا ۹ یا اسید اولئیک (۱۸:۱) داشتند، ولی تأثیر کودهای پایه بر اسیدهای چرب اسید پالمتیک (۱۶:۰)، اسید استئاریک (۱۸:۰) و اسید لینولنیک (۱۸:۳) معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد کود دامی و کمپوست در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی باعث افزایش معنی‌دار امگا ۹ و امگا ۶ گردید (جدول ۷). این دو اسید چرب جز اسیدهای چرب غیراشباع محسوب می‌گردند. افزایش اسیدهای چرب غیراشباع نیز باعث افزایش کیفیت روغن کلزا می‌گردد (Ahmad & Abdin, 2000)، اما کاربرد کودهای شمیایی باعث کاهش درصد اسید اولئیک گردید. یافته‌های راسکه و همکاران (Rathke et al., 2006) نیز نشان داد که افزایش فراهمی نیتروژن باعث کاهش درصد اسید اولئیک دانه می‌گردد. کودهای زیستی تأثیر معنی‌داری نیز بر اسید پالمتیک داشتند و کاربرد آن‌ها باعث افزایش امگا ۶ و امگا ۹ گردید.



شکل ۱- همبستگی بین درصد روغن و نیتروژن دانه کلزا (میلی‌گرم بر گرم)

Fig. 1- Correlation between oil percent and grain nitrogen ($mg.g^{-1}$) of canola

نتیجه‌گیری

به عنوان نتیجه گیری نهایی می‌توان چنین اظهار داشت که بیشترین افزایش و بهبود در عملکرد دانه، روغن کلزا و سایر خصوصیات کیفی دانه در تیمار N_5B_3 که در آن کمپوست، کود دامی، شیمیایی و کودهای زیستی به طور همزمان مورد استفاده قرار گرفته بود حاصل گردید و این ترکیب تیماری در مقایسه با سایر تیمارها، تیمار برتر بود. علاوه بر این به نظر می‌رسد که ترکیب تیماری مذکور از نظر اقتصادی و زیست محیطی نیز مفید و مثمر ثمر می‌باشد و می‌تواند گامی مؤثر در جهت نیل به کشاورزی پایدار محسوب گردد.

بدین ترتیب، پیشنهاد می‌گردد که در مطالعات دیگری تأثیر سطوح مختلف کمپوست و کود دامی بر صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش ارزیابی گردد.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس بابت تأمین هزینه و از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان به خاطر تأمین فضای اجرای آزمایش کمال تشکر را داریم.

جدول ٦ – تجزیهٔ واریانس مرکب (میانگین مربعات) روغن و ترکیب اسیدهای چرب دانه کلزا

Table 6- Combined analysis of variance (mean squares) of oil and canola grain fatty acids

منابع تغییرات S.O.V	درجهٔ آزادی df	روغن دانه Grain oil	عملکرد روغن Oil yield	اسید پالمتیک Palmetic acid	اسید استئاریک Stearic acid	اسید اولئیک Oleic acid	اسید لینولئیک Linoleic acid	اسید لینولنیک Linolenic acid
سال Year	1	0.747 *	391.1 ns	0.002 ns	0.002 ns	0.01 ns	0.001 ns	0.06 ns
بلوک (سال) Block (year)	4	0.060ns	11250**	0.06**	0.001 ns	0.04*	0.002 ns	0.04 ns
کود پایه Basal fertilizer	5	236.7 **	449240**	0.007 ns	0.002 ns	35.1**	12.3**	0.01 ns
کود پایه × سال year×Basal fertilizer	5	0.01 ns	2587 ns	0.001 ns	0.004 ns	0.02 ns	0.004 ns	0.05 ns
خطای اصلی Main error	20	0.109	3323	0.006	0.01	0.04	0.003	0.05
کود زیستی Biofertilizer	3	0.08 ns	234243**	0.01*	0.001 ns	4.6**	1.3**	0.008 ns
کود زیستی × پایه Basal × Biofertilizer	15	0.027 ns	836 ns	0.006 ns	0.002 ns	0.08 ns	0.01 ns	0.05 ns
کود زیستی× سال Year × Biofertilizer	3	0.036 ns	180 ns	0.001 ns	0.003 ns	0.01 ns	0.055 ns	0.01 ns
کود زیستی × پایه× سال year× basal×biofertilizer	15	0.105 ns	171 ns	0.003 ns	0.002 ns	0.008 ns	0.026 ns	0.006 ns
خطای فرعی Sub error	72	0.02	456.3	0.003	0.002	0.005	0.029	0.02

ns، ** و * به ترتیب نشانه عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

Ns, * and ** are Non- significant, Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۷ – مقایسهٔ میانگین‌های روغن و ترکیب اسیدهای چرب دانه کلزا

Table 7- Means comparisons of oil and fatty acids of canola grain

تیمار Treatment	روغن دانه (درصد) Grain oil (%)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) Oil yield ($kg.ha^{-1}$)	اسید پالمتیک Palmetic acid	اسید استئاریک Stearic acid	اسید اولئیک Oleic acid	اسید لینولئیک Linoleic acid	اسید لینولنیک Linolenic acid
					(٪)		
کود پایه Basal fertilizer							
کود دامی (N_1) Farmyard manure (N_1)	47.65 a*	1146.5 e	5.01 a	1.71 a	61.14 b	22.76 a	9.15 a
کمپوست (N_2) Compost (N_2)	47.98 a	1261.8 d	5.04 a	1.70 a	61.21 ab	22.84 a	9.15 a
کود شیمیایی (N_3) Chemical fertilizer (N_3)	42.97 c	1358.7 c	5.02 a	1.69 a	59.32 d	21.66 b	9.14 a
دامی + کمپوست (N_4) Farmyard + compost (N_4)	45.01 b	1402.4 b	5.05 a	1.70 a	61.33 a	22.99 a	9.16 a
شیمیایی+دامی+کمپوست (N_5) Chemical + Farmyard + Compost (N_5)	42.57 c	1775.4 a	5.02 a	1.70 a	59.84 c	22.31 ab	9.15 a
شاهد (N_6) Control (N_6)	39.91 d	465.6 f	5.04 a	1.68 a	58.50 e	21.17 b	9.14 a
کود زیستی Biofertilizer							
باکتری‌های حل کننده فسفات (B_1) Phosphate solubilizing bacteria (B_1)	44.45 b*	1245.1 b	5.01 b	1.70 a	60.20 a	22.31 a	9.16 a
قارچ تریکودرما (B_2) *Trichoderma* fungi (B_2)	44.42 b	1248.3 b	5.04 a	1.70 a	60.24 a	22.24 b	9.15 a
باکتری+قارچ (B_3) Bacteria + fungi (B_3)	44.58 a	1320.0 a	5.05 a	1.71 a	60.20 a	22.31 a	9.15 a
شاهد (B_4) Control (B_4)	43.95 c	1125.2 c	5.01 b	1.69 a	60.00 b	22.25 b	9.15 a

*میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Mean values in each column with the same superscript(s) do not differ significantly by DMRT (P = 0.05).

منابع

1- Ahmad, A., and Abdin, M.Z. 2000. Effect of sulphur application on lipid, RNA and fatty acid content in developing seeds of rapeseed (*Brassica campestris* L.). Plant Science 150: 71-76.
2- AOAC. 1998. In: K. Helrich (Ed.), Official methods of analysis (15th ed.). Methods 920.10. Arlington, VA/Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemists.
3- Barker, A.V., and Pilbeam, D.J. 2007. Handbook of Plant Nutrition. CRC Press 662 pp.
4- Bilsborrow, P.E., Evans, E.L., and Zhano, F.J. 1993. The influence of spring nitrogen on yield, yield components and glucosinolate content of autumn sown oilseed rape (*Brassica napus* L.). Journal of Agriculture Science 10: 219-224.
5- Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen- total. In: Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America p. 595-624.
6- Carter, M.R. 1993. Soil Sampling and Methods of Analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publisher. 1224 pp.
7- Courtney, R.G., and Mullen, G.J. 2008. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. Bioresource Technology 99: 2913-2918.
8- DaMatta, F.M., Loos, R.A., and Loureiro, M.E. 2002. Limitations to photosynthesis in *Coffea canephoraas* a result of nitrogen and water availability. Journal of Plant Physiology 159: 975-981.
9- Ding, L., Wang, K.J., Jiang, G.M., Li, L.F., and Li, Y.H. 2005. Effects of nitrogen deficiency on photosynthetic traits of maize hybrids released in different years. Annals of Botany 96: 925-930.
10- Dubey, S.C., Suresh, M., and Singh, B. 2007. Evaluation of *Trichoderma* species against *Fusarium oxysporum* f. sp. ciceris for integrated management of chickpea wilt. Biological Control 40: 118-127.
11- El-Komy, H.A. 2005. Coimmobilization of *Azospirillum lipoferum* and *Bacillus megaterium* for plant nutrition. Food Technology and Biotechnology 43(1): 19–27.
12- Elad, Y. 2000. Biological control of foliar pathogens by means of *Trichoderma harzianum* and potential modes of action. Crop Protection 19: 709-714.
13- Erhart, E., and Hartl, W. 2003. Mulching with compost improves growth of blue spruce in Christmas tree plantations. European Journal of Soil Biology 39(3): 149-156.
14- Fernando, W.G.D., Nakkeeran, S., and Savchuk, S. 2007. Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary by *Pseudomonas* and *Bacillus* species on canola petals. Crop Protection 26: 100-107.
15- Gaur, A.C., Ostwal, K.P., and Mathur, R.S. 1980. Save super phosphate by using phosphate-solubilizing cultures and rock phosphate. Kheti 32: 23-25.
16- Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1979. Particle size analysis by hydrometer, a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measurement parameters. Soil Science Society of American Journal 43: 1004-1007.
17- Hatch, D.J., Goodlass, G., Joynes, A., and Shepherd, M.A. 2007. The effect of cutting, mulching and applications of farmyard manure on nitrogen fixation in a red clover grass sward. Bioresource Technology 98: 3243-3248.
18- Hati, K.M., Mandal, K.G., Misra, A.K., Ghosh, P.K., and Bandyopadhyay, K.K. 2006. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of central India. Bioresource Technology 97: 2182-2188.
19- Hocking, P.J., Kirkegaard, J.A., Angus, J.F. Bernardi, A., and Mason, L.M. 2002. Comparison of canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments III. Effects of nitrogen fertilizer on nitrogen uptake by plants and on soil nitrogen extraction. Field Crops Research 79: 153-172.
20- Jones, D.L., and Darrah, P.R. 1996. Re-sorption of organic compounds by roots of *Zea mays* L. and its consequences in the rhizosphere. Plant and Soil 178: 153-160.
21- Jutur, P.P., and Reddy, A.R. 2007. Isolation, purification and properties of new restriction endonucleases from *Bacillus badius* and *Bacillus lentus*. Microbiological Research 162: 378-383.
22- Keeling, A.A., McCallum, K.R., and Beckwith, C.P. 2003. Mature green waste compost enhances growth and nitrogen uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) and oilseed rape (*Brassica napus* L.) through the action of water-extractable factors. Bioresource Technology 90: 127-132.
23- Lima, J.D., Mosquim, P.R., and DaMatta, F.M. 1999. Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in *Phaseolus vulgaris* as affected by nitrogen and phosphorus deficiency. Photosynthetica 37: 113-121.
24- Mohammadi, K., Kalamian, S., and Nouri, F. 2007. Use of agricultural wastage as compost and its effect on grain yield of wheat cultivars. In proceedings National conference on agricultural wastage. Tarbiat Modarres University, Iran p. 219-224. (In Persian with English Summary)
25- Mohammadi, K., Ghalavand, A., Aghaalikhani, M., Sohrabi, Y., and Heidari, G.R. 2009. Impressibility of chickpea seed quality from different soil fertility systems. Electronic Journal of Crop Production 3(1): 103-119. (In Persian with English Summary)

26- Ohara, N., Naito, Y., Kasama, K., Nagata, T., and Okuyama, H. 2009. Similar changes in clinical and pathological parameters in Wistar Kyoto rats after a 13-week dietary intake of canola oil or fatty acid composition-based interesterified canola oil mimic. Food and Chemical Toxicology 47: 157-162.
27- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Dept. Agric. Washington DC, Circular 939 pp.
28- Rai, A., and Takabe, T. 2006. Abiotic Stress Tolerance in Plants, Toward the Improvement of Global, Environment and Food. Published by Springer 256 pp.
29- Rajendran, G., Desai, A.J., and Archana, V. 2008. Enhanced growth and nodulation of pigeon pea by co-inoculation of *Bacillus* strains with *Rhizobium* spp. Bioresource Technology 99: 4544-4550.
30- Rathke, G.W., Behrens, T., and Diepenbrock, W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. Agriculture, Ecosystems and Environment 117: 80-108.
31- Rosas, S.B., Andres, G.A., Rovera, M., and Correa, N.S. 2006. Phosphate-solubilizing *Pseudomonas putida* can influence the *Rhizobia* legume symbiosis. Soil Biology and Biochemistry 38: 3502-3505.
32- Rudresh, D.L., Shivaprakash, M.K., and Prasad, R.D. 2005. Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.). Applied Soil Ecology 28: 139-146.
33- Sahni, S., Sarma, B.K., Singh, D.P., Singh, H.B., and Singh, K.P. 2008. Vermicompost enhances performance of plant growth-promoting rhizobacteria in *Cicer arietinum* rhizosphere against *Sclerotium rolfsii*. Crop Protection 27: 369-376.
34- SAS Institute. 2003. The SAS System for Windows. Release 9.1. SAS Inst., Cary, NC.
35- Sattar, M.A., and Gaur, A.C. 1987. Production of Auxins and Gibberellins by phosphate dissolving microorganisms. Zentralbl Mikrobiology 142: 393-395.
36- Smith, J.L., and Doran, J.W. 1996. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. In: Methods for Assessing Soil Quality, SSSA special Publication 49: 169-185.
37- Tejada, M., Gonzalez, J.L., García-Martínez, A.M., and Parrado, J. 2008. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. Bioresource Technology 99: 1758-1767.
38- Verma, M., Brar,. S.K., Tyagi, R.D., Surampalli, R.Y., and Valèro, J.R. 2007. Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: Panoply of biological control. Biochemical Engineering Journal 37: 1-20.
39- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E.L., Woo, S.L., and Lorito, M. 2008. *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. Soil Biology and Biochemistry 40: 1-10.
40- Zaidi, A., Saghir, M., and Amil, M.D. 2003. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). European Journal of Agronomy 19: 15-21.
41- Zhao, F.J., Bilsborrow, P.E., and McGrath, S.P. 1997. Nitrogen to sulfur ratio in rape-seed and in rapeseed protein and its use in diagnosing sulfur deficiency. Journal of Plant Nutrition 20: 549-558.
42- Zhao, F.G., Evans, E.J., Bilsborrow, P.E., and Syers, J.K. 1998. Sulphur uptake and distribution in double and single low varieties of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Plant and Soil 150: 69-76.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، ص. ۳۱۹-۳۰۹

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 309-319

بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در استفاده از کمپوست قارچ، کود بیولوژیک و اوره در گندم (*Triticum aestivum* L.)

سید محمد سیدی[۱] و پرویز رضوانی مقدم[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۳

چکیده

افزایش کارایی مصرف نیتروژن نقش مهمی در توسعه کشاورزی پایدار ایفا می‌کند. به منظور بررسی اثرات سطوح کمپوست قارچ و منابع مختلف نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در گندم (*Triticum aestivum* L.)، آزمایشی گلدانی در فضای آزاد، با ۱۸ تیمار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۸۹-۱۳۸۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایش ترکیبی از شش سطح کمپوست قارچ (صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ تن در هکتار) و سه منبع نیتروژن (کود شیمیایی اوره (۱۵۰کیلوگرم در هکتار)، کود بیولوژیک نیتروکسین (شامل ازتوباکتر و آزوسپیریلوم) و شاهد بودند. نتایج نشان داد که وزن خشک، ارتفاع گیاه، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه با افزایش سطوح کمپوست قارچ افزایش یافت. وزن دانه در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه در تیمار ۸۰ تن کود کمپوست قارچ در مقایسه با شاهد (بدون هیچگونه کودی) به ترتیب از یک افزایش ۴/۷۰، ۲/۹۸ و ۱/۵۶ برابری برخوردار بود، در حالیکه شاخص برداشت و کارایی مصرف نیتروژن با افزایش این سطوح کاهش یافت. همچنین نتایج آزمایش حاکی از اثرات معنی‌دار کود شیمیایی اوره و کود بیولوژیک نیتروکسین بر صفات ذکر شده بود. با این وجود نتایج آزمایش این نکته را مورد تأکید قرار داد که در شرایط نبود یا کمبود مواد آلی در خاک، نیتروکسین ممکن است کود بیولوژیک مناسبی جهت تولید گندم نباشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، کود آلی، کود بیولوژیک نیتروکسین، کود شیمیایی

مقدمه

نیتروژن یکی از عناصر اصلی و مهم در افزایش عملکرد پایدار در غلات است (Delegu et al., 1998). به طوریکه کاربرد مقدار مناسب این عنصر جهت افزایش عملکرد گندم *Triticum aestivum* (L.) ضروری می‌باشد (Hussain et al., 2006; Hartemink et al., 2000). بهارا و همکاران (Behera et al., 2000) با اشاره به نقش ویژه نیتروژن در بهبود عملکرد کمّی گندم (*Triticum aestivum* L.) بیان کردند که این عنصر با تأثیر مثبت بر میزان پروتئین دانه، نقش ویژه‌ای در بهبود عملکرد کیفی گندم ایفاء می‌کند. اختر و همکاران (Akhtar et al., 2000) نیز به نقش کود شیمیایی اوره در افزایش معنی‌دار تعداد پنجه بارور در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و نیز کل محتوی نیتروژن در دانه گندم اشاره کردند. از اینرو با توجه به نقش ویژه این عنصر در اکثر فرآیندهای متابولیکی گیاه و نیز با توجه به این که میزان جذب و تخصیص این عنصر بطور عمده توسط عرضه و تقاضای آن در طول مراحل مختلف رشد تعیین می‌شود، میزان نیتروژن خاک باید در طی مراحل پنجه‌زنی، طویل شدن ساقه، تورم برگ پرچمی، سنبله‌دهی و سرانجام در مرحله پرشدن دانه کافی باشد تا در نهایت منجر به تجمع سطح بالایی از پروتئین در دانه شود (Delegu et al., 1998).

افزایش عملکرد ارقام گندم‌های امروزی نیازمند کاربرد زیاد نهاده‌هایی مانند کودهای شیمیایی است که ممکن است منجر به افزایش هزینه‌های تولید بویژه در سیستم‌های فشرده امروزی شود (Guarda et al., 2004). از سوی دیگر، بطور کلی کشاورزان در تولید محصولات زراعی اغلب جهت کسب حداکثر عملکرد، کود نیتروژن را بیش از مقدار توصیه شده به کار می‌برند (Zheng et al., 2007). در کنار افزایش هزینه‌های تولید، آلودگی آب‌ها و محیط زیست که در نتیجه کاربرد زیاد نیتروژن ایجاد می شود، منجر به بروز نگرانی‌های جدی در بین دانشمندان شده است (Zheng et al.,

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی و استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: E-mail: rezvani@um.ac.ir)

(2007; Guarda et al., 2004). بر این اساس، مدیریت صحیح این عنصر به علت محدودیت منابع آن و نیز به علت گران بودن آن به عنوان یک نهاده ورودی در کشاورزی، یکی از عوامل بسیار مهم در موفقیت سیستم‌های تولید گیاه زراعی و نیز سیستم‌های مدیریت خاک می‌باشد (Ankuma et al., 2003).

جهت کاهش آلودگی‌های محیطی و نیز کاهش در استفاده بیش از حد از منابع غیرقابل تجدید که در تولید کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، بکارگیری منابعی از نیتروژن مانند کودهای بیولوژیکی که برگرفته شده از محیط زیست می‌باشند، به عنوان یکی از راه‌های قابل جایگزین شناخته می‌شوند. بطور کلی کودهای زیستی فرآورده‌های حاوی انواع مختلفی از میکروارگانیسم‌ها می‌باشند که می‌توانند از طریق فرآیندهای بیولوژیکی مختلف، عناصر غذایی را از فرم غیرقابل جذب برای گیاه به فرم قابل جذب تبدیل کنند. ازتوباکتر (*Azotobacter* sp.) و آزوسپیریلوم (*Azospirillum* sp.) از جمله این میکروارگانیسم‌ها بوده که در ارتباط با ریزوسفر گیاه اثرات مفیدی را بر رشد گیاه باعث می‌شوند (Kizilkaya, 2008). ازتوباکتر به عنوان باکتری هوازی و آزادزی در خاک شناخته می شود که بطور غالب در خاک ها یافت می‌شود. کومار و همکاران (Kumar et al., 2006) اثرات مثبت ازتوباکتر در بهبود رشد، عملکرد، اجزای عملکرد و نیز جذب نیتروژن در گندم (*Triticum aestivum* L.) را در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده کردند. نارولا و همکاران (Narula et al., 2000) گزارش کردند که تحت شرایط گلخانه‌ای، نژادهایی از ازتوباکتر منجر به افزایش تولید زیست توده ریشه و نیز افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گندم شدند. کومار و نارولا (Kumar & Narula, 1999) گزارش کردند که ازتوباکتر در ناحیه ریزوسفرگندم می‌تواند نقش مؤثری در حل کردن فسفات و تولید هورمون ایندول استیک اسید داشته باشد. آزوسپیریلوم نیز که همانند ازتوباکتر به عنوان یک دیازوتروف فیزیولوژیکی و هوازی شناخته می‌شود، می‌تواند علاوه بر تثبیت نیتروژن، هورمون‌های تحریک کننده رشد مانند جیبرلین واکسین را تولید کند. ازتورک و همکاران (Ozturk et al., 2003) گزارش کردند که تلقیح بذرهای گندم با آزوسپیریلوم به طور معنی‌داری منجر به افزایش تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و محتوای پروتئین شد. دی‌فریتاس (De Freitas, 2000) گزارش کرد که تلقیح بذرهای گندم با آزوسپیریلوم منجر به افزایش میزان نیتروژن در بافت‌های ساقه این گیاه شد. جهان و همکاران (Jahan et al., 2009) با مطالعه اثرات کودهای زیستی در نظام‌های زراعی رایج و اکولوژیک در ذرت (*Zea mays* L.) خاطر نشان کردند که ترکیب نظام‌های کم نهاده و اکولوژیک و تلقیح توأم میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن شامل ازتوباکترو آزوسپیریلوم می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی و نظام‌های پرنهاده باشد. بریک و گوسوامی (Barik & Goswami, 2003) نیز بیان کردند که تلقیح بذرهای گندم با ازتوباکتر و آزوسپیریلوم با تأثیر مثبتی که بر تعداد و عملکرد دانه دارد، می‌تواند در نهایت منجر به کاهش استفاده از کودهای شیمیایی در تولید گندم شود. ازتوباکتر و آزوسپیریلوم می‌توانند در قالب کود بیولوژیک نیتروکسین که از جمله کودهای بیولوژیک حاوی فعال‌ترین سوش‌ها از این باکتری‌ها در کشور می باشد، مورد استفاده قرار گیرند (Fallahi et al., 2009). در این راستا فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2009) به نقش مؤثر اعمال این کود بیولوژیک در افزایش معنی دار تعداد شاخه اصلی و نیز عملکرد بذر در بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) اشاره کردند.

اصلاح‌کننده‌های آلی نیز به عنوان یکی از راه‌های تأمین نیتروژن و جایگزینی برای کودهای شیمیایی شناخته می‌شوند (Rodriguez et al., 2006). با توجه به حجم بالای ضایعات و پسماندهای بستر پرورش قارچ، کمپوست قارچ می‌تواند به عنوان کود آلی مورد استفاده قرار گیرد (Özguven, 1998). کمپوست قارچ یکی از فرآورده‌های جانبی صنعت تولید قارچ‌های خوراکی است که به بقایای باقیمانده بستر پرورش قارچ اطلاق می‌شود کمپوست قارچ می‌تواند به عنوان یکی از اصلاح کننده‌های آلی با کیفیت، نقش مؤثری در افزایش پایداری سیستم‌های زراعی داشته باشد (Fidanza et al., 2010; Frutos et al., 2010). با توجه به اینکه در مقیاس صنعتی به هنگام آماده سازی بستر قارچ خوراکی، کود مرغی، کاه و گچ مورد استفاده قرار می‌گیرد (Adams & Frostick, 2008)، باقیمانده این ترکیبات در بستر کشت می‌توانند در قالب کمپوست قارچ مورد استفاده قرار گیرد. در این ارتباط اوزگوون (Özguven 1998) با اشاره به نقش مؤثر کمپوست قارچ در بهبود عملکرد توت فرنگی (*Fragaria vesca* L.) گزارش کرد که استفاده از این کود می‌تواند در بهبود پایداری تولید نقش مؤثری را ایفاء کند. فروتوس و همکاران (Frutos et al., 2010) نیز ضمن اشاره به اثرات مثبت کود بستر قارچ در بهبود خصوصیات خاک‌های آلوده به عناصر سنگین، گزارش دادند که این کود می‌تواند نقش مؤثری در بهبود رشد رویشی و نیز رشد اندام-های زیر زمینی در گیاه آتریپلکس (*Atriplex halimus* L.) داشته باشد.

بر این اساس با توجه به اهمیت نیتروژن در بهبود خصوصیات کمی گندم، و نیز با توجه به این که منابع آلی، شیمیایی و یا بیولوژیک نیتروژن می‌توانند بر کارایی مصرف نیتروژن تأثیرات متفاوتی داشته باشند(Elwan & Abd El-Hamed, 2011)، این آزمایش به منظور بررسی اثرات سطوح کمپوست قارچ و منابع شیمیایی و بیولوژیک نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و نیز بر کارایی مصرف نیتروژن در گندم انجام شد.

مواد وروش‌ها

این آزمایش در سال ۸۹-۱۳۸۸ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۸ تیمار بصورت آزمایش گلدانی در فضای آزاد در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمار های آزمایش ترکیبی از شش سطح کمپوست قارچ (صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ تن در هکتار) و سه منبع نیتروژن (کود شیمیایی اوره (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، کود بیولوژیک نیتروکسین (شامل ازتوباکتر و آزوسپیریلوم) و شاهد (بدون مصرف کود)) بودند.

بذر گندم مورد استفاده جهت انجام این آزمایش رقم اصلاح شده C-83-7 بود. کاشت بذر در اوایل آبان ماه انجام شد. اعمال کمپوست قارچ در تمامی سطوح، کود اوره و نیز کود نیتروکسین در همه تیمارها بر اساس واحد سطح گلدان (قطر و ارتفاع هرگلدان به ترتیب۲۰ و ۱۶سانتی‌متر) انجام شد. کمپوست قارچ در تمامی سطوح قبل از کاشت و کود اوره در سه مرحله (همزمان با کاشت، مرحله پنجه‌زنی و مرحله به ساقه رفتن) به خاک گلدان‌ها اضافه شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌های مورد آزمایش در جدول ۱ آمده است. اعمال کود نیتروکسین نیز در سه مرحله بصورت تلقیح با بذور قبل از کاشت (چهار لیتر در هکتار) و اعمال بصورت سرک در مراحل پنجه‌زنی و به ساقه رفتن (پنج لیتر در هکتار) و همزمان با اعمال کود اوره انجام شد. تراکم مطلوب و نهایی گندم بر اساس شش بوته در هر گلدان تعیین شد. آبیاری بر اساس خشک شدن نسبی لایه سطحی خاک برای همه گلدان ها به طور همزمان انجام شد.

عملیات برداشت با زرد شدن کامل سنبله‌ها در اوایل خرداد ماه انجام و سپس به طور جداگانه برای هر تیمار، ارتفاع، وزن خشک ساقه، برگ و سنبله در بوته، تعداد پنجه بارور و نابارور در بوته، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد و وزن دانه در سنبله و در بوته، وزن هزار دانه، شاخص برداشت (بر اساس نسبت بین وزن دانه به وزن خشک زیست توده گیاه شامل سنبله و ساقه و برگ) و در نهایت کارایی مصرف نیتروژن محاسبه گردید. بر این اساس مدت زمان انجام این آزمایش (از کاشت تا برداشت) معادل هفت ماه بود.

جهت محاسبه کارایی مصرف نیتروژن از معادله ۱ استفاده شد (Parsa et al., 2010):

معادله (۱)

$$\text{کارایی مصرف نیتروژن (گرم بذر بر گرم نیتروژن)} = \frac{\text{عملکرد دانه (گرم در متر مربع)}}{\text{محتوی نیتروژن خاک (گرم در مترمربع)}}$$

به منظور تعیین وزن خشک اندام‌های گندم به طور جداگانه برای هر تیمار، پس از ثابت شدن وزن نمونه‌ها (قرار دادن نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد) از ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ استفاده شد. به منظور اندازه گیری ارتفاع و نیز طول سنبله در هر بوته از خط کش میلی‌متری استفاده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کمپوست قارچ و خاک گلدان‌های مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of mushroom compost and pots soil used in experiment

شاخص‌ها Properties	خاک Soil	کمپوست قارچ Mushroom compost
نیتروژن (٪) N (٪)	0.08	1.70
فسفر (ppm) P (ppm)	12.18	-
پتاسیم (ppm) K (ppm)	125.56	-
کربن آلی (٪) Organic carbon (%)	0.09	19.50
اسیدیته pH	8.16	7.20
هدایت الکتریکی (میلی موس بر سانتی‌متر) Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	1.86	-
بافت Texture	سیلتی لوم Silt-loam	-
نسبت کربن به نیتروژن C/N	-	11.50

محتوی نیتروژن خاک بطور جداگانه برای هر تیمار بر اساس نیتروژن اعمال شده توسط سطوح کمپوست قارچ (محتوی نیتروژن معادل ۱/۷ درصد نسبت به وزن تر) و کود شیمیایی اوره (محتوی نیتروژن معادل ۴۶ درصد) به همراه نیتروژن اولیه خاک (محتوی نیتروژن معادل ۰/۰۸ درصد) تعیین شد. نتایج برخی خصوصیات شیمیایی کمپوست قارچ نیز در جدول ۱ آمده است. جهت تعیین درصد نیتروژن موجود در خاک و نیز کمپوست قارچ از دستگاه میکرو کجلدال استفاده شد. در طول مراحل انجام این آزمایش از هیچ‌گونه علف‌کش و آفت‌کش استفاده نشد.

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با نرم افزار SAS-9.1 و رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام گرفت. میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

وزن خشک ساقه، برگ و سنبله

بطورکلی در تیمارهای مربوط به کود بیولوژیک و اوره با افزایش سطوح کمپوست قارچ، وزن ساقه و برگ گندم به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). سینگ و آگاروال (Singh & Agarwal,

(2001 نیز گزارش کردند که افزایش تدریجی کود حاصل از بستر گاوی اثر معنی‌داری را بر تجمع ماده خشک و نیز عملکرد بیولوژیک گندم باعث شد. در بین تیمارهای آزمایش، بیشترین وزن خشک ساقه و برگ در بوته، در تیمارکود اوره + ۱۶۰ تن در هکتار کمپوست قارچ بدست آمد. بطوریکه اعمال این تیمار وزن خشک ساقه و برگ را در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۸۴/۱ و ۸۸ درصد افزایش داد. با توجه به نقش نیتروژن در تحریک و افزایش رشد رویشی، افزایش رشد ساقه و برگ در بوته که نشان‌دهنده تحریک رشد رویشی می‌باشد را می‌توان به افزایش میزان جذب نیتروژن نسبت داد. نتایج آزمایش همچنین حاکی از اثرات معنی‌دار کود اوره و کود نیتروکسین بر صفات ذکر شده بود (جدول ۳). بریک و گوسوامی (Barik & Goswami, 2003) گزارش کردند که تلقیح بذرهای گندم با ازتوباکتر و آزوسپیریلوم منجر به افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ در گندم شد. دی فریتاس (De Freitas, 2000) نیز بیان کرد که تلقیح بذرهای گندم با ریزوباکتری‌هایی مانند ازتوباکتر و آزوسپیریلوم منجر به افزایش وزن خشک ساقه و نیز وزن خشک کل گیاه شد. با این وجود، در تیمارهای مربوط به کود نیتروکسین، تیمار نیتروکسین + صفر تن در هکتار کمپوست قارچ در مقایسه تیمار شاهد منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه نشد. همچنین در تیمارهای مربوط به کود نیتروکسین، اثر سطوح صفر، ۱۰ و۲۰ تن در هکتار در مقایسه با سطوح مشابه کمپوست قارچ در تیمار شاهد نیز اثری در افزایش وزن خشک برگ نداشت. علت این امر ممکن است به دلیل عدم وجود یا تأمین ناکافی مواد آلی جهت تأمین انرژی مورد نیاز برای باکتری‌های آزادزی ازتوباکتر و آزوسپیریلوم موجود در کود بیولوژیک نیتروکسین باشد.

همانند وزن خشک ساقه و برگ، وزن خشک سنبله در بوته گندم نیز با افزایش سطوح کمپوست قارچ رو به افزایش گذاشت (جدول ۳). بطوریکه همانند وزن خشک ساقه و برگ، در هر سه سری تیمار شاهد، کود اوره و کود نیتروکسین، کمترین و بیشترین وزن خشک سنبله به ترتیب در سطوح صفر و ۱۶۰ تن در هکتار کمپوست قارچ بدست آمد (جدول ۳). با وجود عدم اثرات معنی‌دار تیمار نیتروکسین + صفر تن کمپوست قارچ در مقایسه با تیمار شاهد، تیمارهای نیتروکسین + ۱۰ و نیتروکسین + ۲۰ تن در هکتار کمپوست قارچ دارای تفاوت معنی‌داری با سطوح مشابه کمپوست قارچ در تیمار شاهد بودند. کومار و همکاران (Kumar et al., 2001 a&b) نیز در دو آزمایش جداگانه در شرایط گلخانه و مزرعه گزارش کردند که نژادهایی از ازتوباکتر می‌توانند بطوری مؤثر منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و در نتیجه عملکرد دانه در گندم شوند. از سویی با افزایش سطوح کمپوست قارچ به بیش از ۲۰ تن در هکتار، تلقیح بذرهای گندم با کود نیتروکسین در مقایسه با سطوح مشابه در تیمار شاهد، تأثیری در افزایش وزن سنبله نداشت. در تیمارهای مربوط به کود اوره نیز با وجود آنکه سطوح صفر تا ۴۰ تن در هکتار کمپوست قارچ در مقایسه با سطوح مشابه در تیمار شاهد، اثر معنی‌داری بر افزایش وزن سنبله در پی داشتند، سطوح ۸۰ و ۱۶۰ تن در هکتار کمپوست قارچ در مقایسه با سطوح مشابه کمپوست قارچ در تیمار شاهد، تأثیر معنی‌داری را در افزایش وزن سنبله ایجاد نکردند. در این راستا، ازتورک و همکاران (Ozturk et al., 2003) بیان کردند که افزایش میزان نیتروژن در خاک با تأثیر منفی بر فعالیت آزوسپیریلوم می تواند سبب کاهش اثرات مفید این باکتری بر عملکرد گندم شود. به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای زیستی در سیستم‌های رایج فاقد کارایی بوده و تنها در سیستم‌های کم نهاده ممکن است تأثیرگذار باشد (Ozturk et al., 2003).

ارتفاع بوته و سنبله

بطورکلی با افزایش میزان سطوح کمپوست قارچ، ارتفاع بوته و طول سنبله گندم در هر سه سری تیمار مربوط به منابع مختلف نیتروژن به طور معنی‌داری رو به افزایش گذاشت (جدول ۴). سینگ و آگاروال (Singh & Agarwal, 2001) گزارش کردند که افزایش تدریجی سطوح کود حاصل از بستر گاوی تأثیر مثبتی بر ارتفاع بوته گندم داشت. حسین و همکاران (Hussain et al., 2006) نیز افزایش معنی‌دار سطوح نیتروژن را بر ارتفاع بوته گندم گزارش کردند. در بین تیمارهای آزمایش نیز بیشترین ارتفاع بوته و طول سنبله گندم (به ترتیب معادل ۶۴/۲ و ۹ سانتی‌متر) در تیمار کود اوره + ۱۶۰ تن کمپوست قارچ بدست آمد (جدول ۴). نتایج آزمایش همچنین حاکی از اثرات معنی‌دار کود نیتروکسین در افزایش این دو شاخص بود (جدول۴). بریک و گوسوامی (Barik & Goswami, 2003) نیز گزارش کردند که تلقیح بذرهای گندم با آزوسپیریلوم تأثیر مثبتی بر ارتفاع بوته و طول سنبله گندم داشت. با وجود اثر معنی دار نیتروکسین + اعمال کمپوست قارچ در افزایش ارتفاع بوته و طول سنبله نسبت به تیمار شاهد، تیمار نیتروکسین + صفر تن درهکتار کمپوست قارچ در مقایسه با تیمار شاهد (بدون هیچگونه کودی)، اثر معنی‌داری را در افزایش این دو صفت نشان نداد (جدول ۳). همچنین با وجود نقش مؤثر نیتروکسین در سطح ۱۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، سایر سطوح این کود (نیتروکسین + ۲۰ تا نیتروکسین + ۱۶۰ تن در هکتار کمپوست قارچ) در مقایسه با سطوح مشابه کمپوست قارچ در تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری را در افزایش این دو صفت نشان ندادند. علت این امر می‌تواند به دلیل تأمین کافی عناصر غذایی در نتیجه اعمال کمپوست قارچ در سطوح ذکر شده باشد که ممکن است منجر به کاهش و یا حذف اثرات مثبت باکتری‌های موجود در کود بیولوژیک نیتروکسین جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد گندم شود.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های در گندم در نتیجه اعمال تیمار های مورد مطالعه

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of measured characters of wheat affected by different fertilizer treatments

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن ساقه در بوته Stem weight per plant	وزن برگ در بوته Leaf weight per plant	وزن سنبله در بوته Grain weight per plant	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Spike length	تعداد پنجه بارور در بوته No. of fertile tiller per plant	تعداد پنجه نابارور در بوته No. of infertile tiller per plant
بلوک Block	2	0.0056 ns	0.0045 ns	1.951 ns	3.81 ns	2.649 ns	0.0009 ns	0.1076 ns
تیمار Treatment	17	0.5362**	0.2064**	11.256**	202.74**	5.822**	0.0037 ns	1.5544**
خطا Error	34	0.0117	0.0025	2.484	7.92	0.391	0.0014	0.1497
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)	-	12.05	10.28	8.87	5.26	9.04	3.61	20.27

ns و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد.

ns and ** are non- significant and significantly at α=0.01, respectively.

جدول ۲ (ادامه)- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص های در گندم در نتیجه اعمال تیمار های مورد مطالعه

Table 2 (continued) - Analysis of variance (mean of squares) of measured characters of wheat affected by different fertilizer treatments

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد سنبلچه در سنبله No. of spikelet per spike	تعداد دانه در سنبله No. of grain per spike	تعداد دانه در بوته No. of grain per plant	وزن دانه در سنبله Grain weight per spike	وزن دانه در بوته Grain weight per plant	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000-grain weight	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency
بلوک Block	2	2.3572 ns	9.8422 ns	2.0007 ns	0.0015 ns	0.0069 ns	10.735 ns	28.114 ns	0.008 ns
تیمار Treatment	17	55.0200**	103.3266**	176.0013	0.1417**	0.2121**	60.718**	103.713**	0.560**
خطا Error	34	1.3982	6.6647	8.0250	0.0046	0.0036	6.321	7.792	0.011
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)	-	4.14	9.93	9.91	9.77	7.89	9.63	9.36	8.66

ns و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد.

ns and ** are non- significant and significantly at α=0.01, respectively.

جدول ۳- اثرات سطوح کمپوست قارچ و منابع مختلف نیتروژن (شاهد، کود شیمیایی اوره و کود بیولوژیک نیتروکسین) بر وزن خشک اندام‌های هوایی مختلف گندم

Table 3- Effects of mushroom compost levels and different sources of nitrogen (control, urea fertilizer and nitroxin biofertilizer) on dry matter of wheat shoots

تیمار Treatment	ساقه Stem		برگ Leaf		سنبله Spike	
	وزن (گرم) Weight (g)	درصد (%)	وزن (گرم) Weight (g)	درصد (%)	وزن (گرم) Weight (g)	درصد (%)
Control + M.C $_0$	0.25h*	32.17	0.12i	16.83	0.40i	51.00
// + M.C $_{10}$	0.44gh	36.57	0.26h	21.80	0.50i	41.63
// + M.C $_{20}$	0.62efg	34.37	0.30gh	16.83	0.89gh	48.80
// + M.C $_{40}$	0.68ef	31.27	0.38fg	17.37	1.12ef	51.40
// + M.C $_{80}$	1.11c	28.93	0.70d	18.37	2.02bc	52.70
// + M.C $_{160}$	1.41ab	31.47	0.83b	18.50	2.25a	50.03
Urea $_{150}$ + M.C $_0$	0.49fg	30.60	0.27h	16.77	0.83h	52.60
// + M.C $_{10}$	0.64ef	30.80	0.31gh	15.00	1.11ef	54.20
// + M.C $_{20}$	0.82de	32.40	0.40ef	15.83	1.28e	51.70
// + M.C $_{40}$	1.33b	38.20	0.65d	18.63	1.50d	43.17
// + M.C $_{80}$	1.40ab	32.07	0.82b	18.70	2.15ab	49.27
// + M.C $_{160}$	1.57a	32.80	1.00a	20.83	2.23a	46.43
Nitroxin + M.C $_0$	0.28h	30.33	0.17i	19.07	0.46i	50.63
// + M.C $_{10}$	0.77de	37.17	0.29gh	14.00	1.01fg	48.83
// + M.C $_{20}$	0.81de	34.50	0.37fg	15.93	1.17ef	49.57
// + M.C $_{40}$	0.90d	34.93	0.48e	18.40	1.20e	46.63
// + M.C $_{80}$	1.14c	30.10	0.72cd	19.13	1.90c	50.07
// + M.C $_{160}$	1.15ab	34.40	0.80bc	18.10	2.09ab	47.53

*در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

M.C: کمپوست قارچ

* Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's Multiple Rang Test. M.C: Musroom compost

تعداد پنجه بارور و نابارور در بوته

نتایج آزمایش حاکی از عدم اثرات معنی‌دار تیمارهای کودی بر تعداد پنجه بارور در گندم بود (جدول ۴). با این وجود، سینگ و آگاروال (Singh & Agarwal, 2001) گزارش کردند که افزایش تدریجی سطوح کود حاصل از بستر گاوی منجر به افزایش پنجه‌های بارور شد. به نظر می‌رسد که تعداد پنجه‌های بارور در گندم تحت تأثیر ژنوتیپ رقم نیز می‌باشد.

با وجود عدم معنی‌دار شدن تعداد پنجه‌های بارور در هر بوته گندم در نتیجه اعمال سطوح کمپوست قارچ، اثر این سطوح کودی در افزایش تعداد پنجه‌های نابارور در بوته گندم معنی‌دار بود (جدول ۴). همچنین مقایسه تعداد پنجه‌های نابارور در هر بوته گندم در هر سه منبع مختلف نیتروژن (شاهد، کود شیمیایی اوره و کود بیولوژیک نیتروکسین) حاکی از آن بود که با وجود اثر معنی‌دار کود اوره در افزایش تعداد پنجه‌های نابارور، استفاده از کود نیتروکسین تأثیری در افزایش تعداد پنجه‌های نابارور در بوته گندم نداشت.

تعداد سنبلچه درسنبله، تعداد دانه در سنبله و در بوته

تعداد سنبلچه در سنبله گندم تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار گرفت. بطوریکه تمامی تیمارهای آزمایش منجر به افزایش معنی‌دار این شاخص در مقایسه با تیمار شاهد شدند (جدول ۴). همچنین با افزایش سطوح کمپوست قارچ، تعداد دانه در سنبله و نیز در بوته گندم به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). سینگ و آگاروال (Singh & Agarwal, 2001) نیز بیان کردند که افزایش تدریجی سطوح اعمال شده کود حاصل از بستر گاوی منجر به افزایش تعداد دانه در سنبله و در نتیجه عملکرد دانه شد. نتایج آزمایش همچنین حاکی از آن بود که با وجود اثر معنی‌دار تیمارهای مربوط به سطوح کمپوست قارچ + کود اوره در افزایش تعداد دانه در سنبله و در بوته گندم در مقایسه با تیمارهای مربوط به سطوح کمپوست قارچ + شاهد، تیمارهای مربوط به سطوح کمپوست قارچ + نیتروکسین در مقایسه با سطوح مشابه در تیمار شاهد، اثر معنی‌داری را در افزایش این دو صفت نشان ندادند (جدول ۴).

جدول ٤ -اثرات سطوح کمپوست قارچ و منابع مختلف نیتروژن (شاهد، کود شیمیایی اوره و کود بیولوژیک نیتروکسین) بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 4- Effects of mushroom compost levels and different resources of nitrogen (control, urea fertilizer and nitroxin biofertilizer) on yield and yield components of wheat

تیمار Treatment	ارتفاع (سانتی‌متر) Height (cm)	طول سنبله (سانتیمتر) Spike length (cm)	تعداد پنجه بارور/ بوته No. of fertile tiller/plant	تعداد پنجه نابارور/ بوته No. of Infertile tiller/plant	تعداد سنبلچه / سنبله No. of spike /spikelet	تعداد دانه / سنبله No. of grain /spike	تعداد دانه / بوته No. of grain /plant	وزن دانه/ سنبله (گرم) Grain weight /spike (g)	وزن دانه/ بوته (گرم) Grain weight /plant (g)	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم) 1000-grain weight (g)	شاخص برداشت (%) Harvest index (%)
Control + M.C $_0$	32.9e*	4.2f	0.00b	0.89e	19.9h	12.0f	12.0e	0.23j	0.23h	19.42fg	29.7defg
// + M.C $_{10}$	46.2d	5.2ef	0.00b	1.22de	23.6fg	23.1de	23.1d	0.51i	0.51g	23.06def	43.1a
// + M.C $_{20}$	53.6c	6.2de	0.00b	1.60cde	26.2de	24.2de	24.2cd	0.57hi	0.57fg	23.61def	31.3cdef
// + M.C $_{40}$	53.8c	7.2cd	0.05ab	2.20bc	31.7ab	30abc	31.5ab	0.71efg	0.74e	23.49def	34.4bcd
// + M.C $_{80}$	57.7bc	8.0abc	0.11ab	2.27bc	32.5ab	29.3abc	35.8a	0.97a	1.08a	30.37ab	28.2fgh
// + M.C $_{160}$	58.2bc	8.4ab	0.16ab	2.70ab	32.6ab	29.3abc	34.9a	0.89abc	1.04ab	29.89abc	23.1ij
Urea $_{150}$ + M.C $_0$	45.7d	6.1de	0.00b	1.68cd	26.1de	23.7de	23.7cd	0.51i	0.51g	21.86ef	32.4bcdef
// + M.C $_{10}$	57.7bc	6.0de	0.16ab	1.15de	25.3ef	20.9e	24.3cd	0.62hi	0.72e	29.46abc	35.2bc
// + M.C $_{20}$	57.6bc	7.1cd	0.05ab	2.47ab	27.8cd	26.1cd	27.5bcd	0.87abcd	0.91cd	33.27a	37.0b
// + M.C $_{40}$	56.9bc	7.1cd	0.11ab	2.33abc	28.5c	26.1cd	29.0bc	0.89abc	0.99abc	34.15a	28.4efgh
// + M.C $_{80}$	62.7ab	8.8ab	0.16ab	3.03a	30.5b	30.8abc	36.0a	0.79cde	0.91cd	25.38cde	21.0ij
// + M.C $_{160}$	64.2a	9.0a	0.16ab	2.92ab	33.6a	31.4ab	36.7a	0.84bcd	0.98abc	26.83bcd	20.4j
Nitroxin + M.C $_0$	36.3e	4.6f	0.00b	0.89e	22.3g	13.3f	13.3e	0.23j	0.23h	17.47g	25.6ghi
// + M.C $_{10}$	54.6c	6.6d	0.00b	1.00de	25.8de	26.6bcd	26.6bcd	0.65fgh	0.65ef	24.65de	31.4cdef
// + M.C $_{20}$	55.8c	6.5d	0.00b	1.63cd	27.9cd	26.2cd	27.4bcd	0.75def	0.75e	27.19bcd	31.5cdef
// + M.C $_{40}$	54.9c	7.2cd	0.17ab	1.40de	33.4a	33.0a	36.5a	0.76cdef	0.87d	23.66def	33.6bcde
// + M.C $_{80}$	55.3c	7.8bc	0.16ab	2.27bc	33.2a	30.8abc	36.0a	0.82bcde	0.97bcd	26.84bcd	25.9ghi
// + M.C $_{160}$	57.8bc	8.6ab	0.16ab	2.70ab	33.7a	30.9abc	36.0a	0.92ab	1.06ab	29.82abc	24.2hij

*در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

MC: کمپوست قارچ

* Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's Multiple Rang Test.

M.C: Mushroom compost

علاوه بر نقش مؤثر ازتوباکتر در تثبیت نیتروژن، اثرات مفید ازتوباکتر در بهبود عملکرد گندم می‌تواند در ارتباط با افزایش حل کردن فسفات و نیز تولید هورمون‌های گیاهی باشد (Narula et al., 2000). با این وجود اثرات مثبت تلقیح گندم با ریزو باکتری‌های مؤثر بر رشد ممکن است تا زمان شناسایی دقیق عواملی که می‌توانند فعالیت این باکتری را در ریزوسفر تحت تأثیر قرار دهند، محدود باشد (De Freitas, 2000).

وزن دانه در سنبله ودر بوته

وزن دانه در سنبله و در بوته گندم نیز همانند تعداد دانه در سنبله و در بوته با افزایش سطوح کود کمپوست قارچ در هر سه سری تیمار مربوط به منابع مختلف نیتروژن دارای روندی صعودی بود (جدول ۴). همچنین اثر کود اوره و نیتروکسین نیز در افزایش این دو شاخص در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار بود (جدول ۴). ازتورک و همکاران (Ozturk et al., 2003) افزایش عملکرد دانه را در اثر تلقیح بذرهای گندم با باکتری آزوسپیریلوم مشاهده کردند. ردریگز و همکاران (Rodriguez et al., 1996) نیزگزارش کردند که تلقیح بذرهای گندم با آزوسپیریلوم اثر معنی‌داری بر افزایش عملکرد دانه این گیاه داشت. با این وجود، در تیمار نیتروکسین + صفر تن در هکتار کمپوست قارچ، اثر معنی‌داری در افزایش وزن دانه در سنبله و در بوته گندم در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده نشد. از سویی دیگر، افزایش کاربرد سطوح کمپوست قارچ بیش از ۲۰ تن در هکتار منجر به عدم تأثیر استفاده از تلقیح بذرهای گندم با نیتروکسین در افزایش وزن دانه در سنبله در مقایسه با سطوح مشابه در تیمار شاهد شد. همچنین افزایش کاربرد سطوح کمپوست قارچ بیش از ۴۰ تن در هکتار باعث عدم تأثیر تلقیح بذر های این گیاه با نیتروکسین در افزایش وزن دانه در بوته در مقایسه با سطوح مشابه در تیمار شاهد شد. ازتورک و همکاران (Ozturk et al., 2003) گزارش کردند در حالیکه در تیمار آزوسپیریلوم + ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، عملکرد دانه به طور معنی‌داری بیش از تیمار شاهد + ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود، تفاوت معنی داری بین دو تیمار آزوسپیریلوم + ۸۰ و شاهد + ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده نشد. این محققان همچنین بیان کردند که کاهش کارایی آزوسپیریلوم با افزایش مقدار نیتروژن در خاک ممکن است به دلیل حساسیت شدید فعالیت آنزیم نیتروژناز به مقدار آمونیوم در خاک باشد. از آنجا که تثبیت بیولوژیکی نیتروژن بطور مستقیم به فعالیت این آنزیم وابسته است، کاهش فعالیت این آنزیم می‌تواند مستقیماً تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را کاهش دهد (Ozturk et al., 2003). از سوی دیگر، بطور کلی تحت شرایط آب و هوایی نیمه خشک، تلقیح بذرهای گندم زمانی می‌تواند سودمند باشد که در کنار شناسایی و انتخاب نژادهای مؤثری از باکتری و نیز ارقام مناسب گندم بر اساس شرایط منطقه‌ای، شرایط خاک نیز مناسب باشد (Rodriguez et al., 1996).

وزن هزار دانه

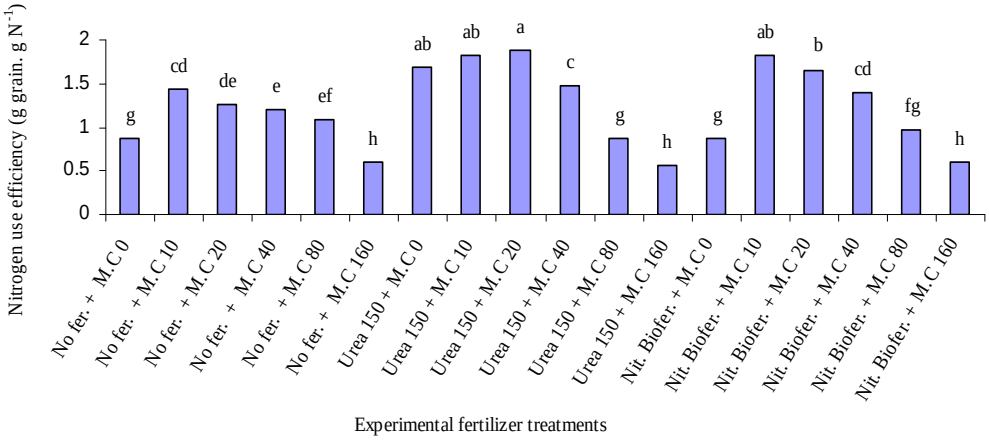
بطور کلی، افزایش سطوح اعمال شده کود کمپوست قارچ، افزایش وزن هزار دانه گندم را در پی داشت (جدول ۴). از سوی دیگر با وجود اثرات معنی‌دار سطوح کمپوست قارچ + کود اوره در افزایش وزن هزاردانه در مقایسه با سطوح مشابه در تیمار شاهد، اثر سطوح کمپوست قارچ + نیتروکسین در مقایسه با سطوح مشابه در تیمار شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۴). همچنین افزایش سطوح اعمال شده کمپوست قارچ به بیش از ۴۰ تن در هکتار به همراه استفاده از کود شیمیایی، باعث کاهش معنی‌دار در این صفت شد. علت این امر می‌تواند در ارتباط با تحریک رشد رویشی گندم باشد که ممکن است منجر به کاهش میزان تخصیص نیتروژن به اندام‌های زایشی شود.

شاخص برداشت

نتایج آزمایش حاکی از کاهش شاخص برداشت گندم در نتیجه افزایش سطوح کمپوست قارچ بود (جدول ۴). به طوریکه در هر سه سری تیمار آزمایش، کمترین شاخص برداشت در سطح ۱۶۰ تن در هکتار کود کمپوست بدست آمد. به عبارت دیگر، با وجود افزایش وزن خشک ساقه، برگ و دانه گندم در نتیجه افزایش سطوح کمپوست قارچ، میزان رشد ساقه و برگ بیش از افزایش وزن سنبله و نیز دانه گندم بود. این امر ممکن است نشان دهنده آن باشد که با افزایش میزان اعمال کود در خاک، درصد تخصیص مواد غذایی به اندام‌های رویشی در مقایسه با اندام‌های زایشی رو به افزایش می‌گذارد. از سوی دیگر، با وجود کاهش شاخص برداشت در نتیجه افزایش سطح کمپوست در هر سه سری تیمار مربوط به منبع نیتروژن، در هر دو سری تیمار شاهد و کود نیتروکسین میزان این شاخص در سطح صفر تن کمتر از سطح ۱۰ تن در هکتار بود. علت این امر می‌تواند به دلیل کمبود بیش از حد عناصر غذایی در مرحله زایشی گندم باشد.

کارایی مصرف نیتروژن

همانند شاخص برداشت، با افزایش میزان سطوح کمپوست قارچ در هر سه سری تیمار شاهد، کود اوره و کود نیتروکسین، کارایی مصرف نیتروژن رو به کاهش گذاشت (شکل ۱). به عبارت دیگر، کمترین کارایی مصرف نیتروژن در هر سه سری تیمار مربوط به منبع نیتروژن، در سطح ۱۶۰ تن در هکتار کمپوست قارچ بدست آمد (شکل۱). نتایج بدست آمده با یافته‌های سینگ و آگاروال (Singh & Agarwal, 2005) مطابقت داشت.



شکل ۱- اثرات متقابل سطوح کمپوست قارچ و منابع مختلف نیتروژن (شاهد، کود شیمیایی اوره و کود بیولوژیک نیتروکسین) بر کارایی مصرف نیتروژن گندم

MC: کمپوست قارچ (تن در هکتار)، No fer: شاهد، Nit. Biofer: بیولوژیکی نیتروکسین

Fig. 1- Interaction effects of mushroom compost levels and different resources of nitrogen (control, urea fertilizer and nitroxin biofertilizer) on nitrogen use efficiency (NUE) of wheat

M.C: Mushroom compost (t. ha^{-1}), No fer: Control, Nit. Biofer: Nitroxin biofertilizer.

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Rang Test.

این محققین نیز گزارش کردند که با افزایش میزان کود بستر گاوی در خاک به همراه مصرف کود شیمیایی نیتروژن کارایی این عنصر در گندم کاهش یافت. همچنین ووکویچ و همکاران (Vukovic et al., 2008) گزارش کردند که با وجود آنکه افزایش سطوح اعمال شده نیتروژن در خاک نقش مؤثری در افزایش عملکرد در گندم داشت، منجر به کاهش کارایی مصرف نیتروژن در این گیاه شد. اهدایی و همکاران (Ehdaie et al., 2001) نیز کاهش کارایی مصرف نیتروژن در گندم را در نتیجه افزایش میزان نیتروژن مشاهده کردند. در بین تیمارهای آزمایش نیز تیمار کود اوره + ۱۶۰ تن در هکتار با کارایی مصرفی معادل ۰/۵۶ گرم دانه بر گرم نیتروژن، دارای کمترین میزان در این شاخص بود.

با وجود کاهش کارایی مصرف نیتروژن در نتیجه افزایش میزان سطوح کمپوست قارچ، در هر دو سری تیمار شاهد و کود نیتروکسین، کارایی مصرف نیتروژن در سطح صفر تن به طور معنی‌داری کمتر از سطح ۱۰ تن کمپوست قارچ در هکتار بود. با توجه به ارتباط مستقیم میزان جذب عناصر غذایی از خاک (راندمان جذب) و عملکرد دانه (راندمان فیزیولوژیکی) با کارایی مصرف نیتروژن (Salvagiotti et al., 2009)، کمبود بیش از حد عناصر غذایی با تحت تأثیر قرار دادن عملکرد دانه و شاخص برداشت، می‌تواند به طور مستقیم کارایی مصرف نیتروژن را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعه تیمارهای مربوط به کود نیتروکسین نیز حاکی از آن بود که در سطوح ۱۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، در مقایسه با سطوح مشابه در تیمار شاهد، استفاده از کود نیتروکسین منجر به افزایش میزان کارایی مصرف نیتروژن شد. دی فریتاس (De Freitas, 2000) نیز گزارش کرد که تلقیح بذرهای گندم با ریزو باکتری‌هایی مانند ازتوباکتر و آزوسپیریلوم منجر به افزایش میزان کل نیتروژن در بافت‌های گندم شد. با توجه به این که ماهیت از دست رفتن نیتروژن ممکن است به حسب خصوصیات خاک، شرایط آب و هوایی، نوع و یا مرحله رشدی گیاه متفاوت باشد (Peng et al., 2006)، جذب این عنصر بویژه در شرایط کمبود آن با استفاده از ارتباط‌های میکروارگانیسمی، در کنار به حداقل رساندن راه‌های تلفات آن نقش مؤثری در افزایش کارایی این عنصر در غلات خواهد داشت (Dawson et al., 2008).

نتیجه‌گیری

بطور کلی، نتایج آزمایش حاکی از آن بود که در صورت نبود یا کمبود مواد آلی در خاک، استفاده از کود بیولوژیک نیتروکسین تأثیری در افزایش عملکرد و یا اجزای عملکرد گندم نداشت. همچنین اعمال سطوح کمپوست قارچ به بیش از ۴۰ تن در هکتار نیز منجر به عدم تأثیرکود نیتروکسین بر عملکرد گندم شد. بر این اساس نتایج آزمایش این نکته را مورد تاکید قرار داد که شرایط مناسب خاک از نظر مقدار

مناسب مواد آلی ممکن است نقش بسیار مهمی در افزایش کارایی استفاده از ریزوباکتری‌های موجود در کود نیتروکسین در تولید گندم داشته باشد. همچنین بدلیل کاهش کارایی مصرف نیتروژن در گندم در نتیجه افزایش میزان اعمال کمپوست در خاک و نیز کود اوره، قیمت بالای نهاده‌های حاوی نیتروژن و نیز به دلیل عدم تأثیر مقادیر بالای نیتروژن در خاک در افزایش عملکرد گیاه، اعمال مناسب‌ترین میزان نیتروژن به منظور کسب عملکردی قابل قبول در کنار حفظ کارایی مصرف بالای این عنصر می‌تواند در افزایش پایداری سیستم‌های تولید و نیز کاهش آلودگی‌های زیست محیطی نقش مؤثری را ایفا نماید.

منابع

1- Adams, J.D.W., and Frostick, L.E. 2008. Investigating microbial activities in compost using mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation as an experimental system. Bioresource Technology 99: 1097–1102.
2- Akhtar, M., Mehmood, A., Ahmad, J., and Ighbal, K. 2000. Nitrogen uptake efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.) as influenced by nitrogen level and weed-crop competition duration. Pakistan Journal of Biological Science 3(6): 1002-1003.
3- Barik, A.K., and Goswami, A. 2003. Efficacy of biofertilizers with nitrogen levels on growth, productivity and economics in wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agronomy 48(2): 100-102.
4- Behera, U.K., Chougule, B.A., Thakur, R.S., Ruwali, K.N., Bhawsar, R.C., and Pandey, H.N. 2000. Influence of planting dates and nitrogen levels on yield and quality of durum wheat (*Triticum durum*). Indian Journal of Agricultural Sciences 70(7): 434-436.
5- Dawson, J.C., Huggins, D.R., and Jones, S.S. 2008. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. Field Crops Research 107: 89-101.
6- De Freitas, J.R. 2000. Yield and N assimilation of winter wheat (*Triticum aestivum* L., var. Norstar) inoculated with rhizobacteria. Pedobiologia 44: 97-104.
7- Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., De Falcis, D., Maggiore, T., and Stanca, A.M. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. European Journal of Agronomy 9: 11-20.
8- Ehdaie, B., Shakiba, M.R., and Waines, J.G. 2001. Sowing date and nitrogen input influence nitrogen-use efficiency in spring bread and durum wheat genotypes. Journal of Plant Nutrition 24(6): 899-919.
9- Elwan, M.W.M., and Abd El-Hamed, K.E. 2011. Influence of nitrogen form, growing season and sulfur fertilization on yield and the content of nitrate and vitamin C of broccoli. Scientia Horticulturae 127(3): 181-187.
10- Fallahi, J., Koocheki, A., and Rezvani Moghaddam, P. 2009. Effects of biofertilizers on quantitative and qualitative yields of chamomile (*Matricaria recutita*) as a medicinal plant. Iranian Journal of Field Crops Research 7(1): 127-135. (In Persian with English Summary)
11- Fidanza, M.A., Sanford, D.L., Beyer, D.M., and Aurentz, D.J. 2010. Analysis of fresh mushroom compost. Horticutural Technology 20(2): 449-453.
12- Frutos, I., Garate, A. and Eymar, E. 2010. Applicability of spent mushroom compost (SMC) as organic amendment for remediation of polluted soils. Acta Horticulturae 852: 261-268.
13- Guarda, G., Padovan, S., and Delogu, G. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. European Journal of Agronomy 21: 181-192.
14- 14-Hartemink, A.E., Johnston, M., O'Sullivan, J.N., and Poloma, S. 2000. Nitrogen use efficiency of taro and sweet potato in the humid lowlands of Papua New Guinea. Agriculture, Ecosystems and Environment 79: 271-280.
15- Hussain, I., Khan, M.A., and Khan, E.A. 2006. Bread wheat varieties as influenced by different nitrogen levels. Journal of Zhejiang University Science B 7(1):70-78.
16- Jahan, M., Koocheki, A., Ghorbani, R., Rejali, F., Aryayi, M., and Ebrahimi, E. 2010. The effect of biological fertilizers application on some agroecological characteristics of corn under conventional and ecological cropping systems. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 375-390. (In Persian with English Summary)
17- Kizilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. Ecological Engineering 33: 150-156.
18- Kumar, V., and Narula, N. 1999. Solubilization of inorganic phosphates and growth emergence of wheat as affected by *Azotobacter chroococcum* mutants. Biology and Fertility of Soils 28(3): 301-305.
19- 19-Kumar, V., Behl, R.K., and Narula, N. 2001a. Effect of phosphate-solubilizing strains of *Azotobacter Chroococcum* on yield traits and their survival in the rhizosphere of wheat genotypes under field conditions. Acta Agronomica Hungarica 49: 141-149.
20- Kumar, V., Behl, R.K., and Narula, N. 2001b. Establishment of phosphate-solubilizing strains of *Azotobacter*

chroococcum in the rhizosphere and their effect on wheat cultivars under green house conditions. Microbiological Research 156: 87-93.

21- Kumar, V., and Ahlawat, I.P.S. 2006. Effect of biofertilizer and nitrogen on wheat (*Triticum aestivum*) and their after effects on succeeding maize (*Zea mays*) in wheat-maize cropping system. Indian Journal of Agricultural Sciences 76(8): 465-468.

22- Narula, N., Kumar, V., Behl, R.K., Deubel, A., Gransee, A., and Merbach, W. 2000. Effect of P-solubilizing *Azotobacter chroococcum* on N, P, K uptake in P-responsive wheat genotypes grown under greenhouse conditions. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 163: 393-398.

23- Ozturk, A., Caglar, O., and Sahin, F. 2003. Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 166: 262-266.

24- Özguven, A.I. 1998. The opportunities of using mushroom compost waste in Strawberry growing. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 22: 601-607.

25- Parsa, S., Kafi, M., and Nassiri, M. 2010. Effects of Salinity and nitrogen levels on nitrogen content of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 7: 347-355. (In Persian with English Summary)

26- Peng, S., Buresh, R.J., Huang, J., Yang, J., Zou, Y., Zhong, X., Wang, G., and Zhang, F. 2006. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China. Field Crops Research 96: 37-47.

27- Rodríguez Cáceres, E.A., González Anta, G., López, J.R., Di Ciocco, C.A., Pacheco Basurco, J.C., and Parada, J.L. 1996. Response of field-grown wheat to inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bacillus polymyxa* in the semiarid region of Argentina. Arid Soil Research and Rehabilitation 10(1): 13-20.

28- Salvagiotti, F., Castellarín, J.M., Miralles, D.J., and Pedrol, H.M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crops Research 113: 170-177.

29- Singh, R., and Agarwal, S.K. 2001. Growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*) as influenced by levels of farmyard manure and nitrogen. Indian Journal of Agronomy 46(3): 462-467.

30- Singh, R., and Agarwal, S.K. 2005. Effect of levels of farmyard manure and nitrogen fertilization on grain yield and use efficiency of nutrients in wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agricultural Sciences 75(7): 408-413.

31- Vukovic, I., Mesic, M., Zgorelec, Z., Jurisic, A., and Sajko, K. 2008. Nitrogen use efficiency in winter wheat. Cereal Research Communications 36: 1199-1202.

32- Zheng, Y.M., Ding, Y.F., Wang, Q-S., Li, G.H., Wu, H., Yuan, Q., Wang, H.Z., and Wang, S.H. 2007. Effect of nitrogen applied before transplanting on NUE in rice. Agricultural Sciences in China 6(7): 842-848.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، ص. ۳۲۷-۳۲۰

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 320-327

بررسی تأثیر *آزوسپیریلوم لیپوفروم* بر ویژگی‌های گیاهچه آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) حاصل از بذر شرایط کم‌آبی در شرایط مزرعه

حامد هادی[۱*]، نانسی بابائی[۲]، جهانفر دانشیان[۳]، محمد حسین ارزانش[۴] و آیدین حمیدی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۴/۰۳

چکیده

ویژگی‌های گیاهچه ارقام مختلف آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) تحت تنش خشکی و تلقیح با باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* در آزمایشی در مزرعه آموزشی پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن در سال زراعی ۶۸-۱۳۸۵ به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار ارزیابی شد. تیمارها شامل تنش کم‌آبی (بذرهای تولید شده در شرایط آبیاری گیاهان مادری پس از مقادیر ۶۰ (آبیاری مطلوب)، ۱۲۰ (تنش متوسط) و ۱۸۰ (تنش شدید) میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A)، رقم (لاکومکا، مستر، فوریت، سور و آرماویروسکی) و تلقیح باکتری (*آزوسپیریلوم لیپوفروم* و شاهد) بودند. عامل باکتری در پلات اصلی قرار گرفت و بذرهای حاصل از شرایط تنش کم‌آبی و رقم به صورت فاکتوریل در داخل آن قرار گرفتند. نتایج نشان داد که باکتری *آزوسپیریلوم* زمان ظهور گیاهچه، شاخص قدرت گیاهچه، وزن خشک برگ، دمبرگ، ساقه و گیاهچه را به ترتیب ۱۴، ۴۴، ۳۰، ۳۱، ۲۲ و ۲۷ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش داد. ظهور اولیه گیاهچه بذرهای شرایط تنش متوسط ۴۸ درصد بیش از شرایط آبیاری مطلوب بود. ظهور نهایی، سرعت ظهور، شاخص ظهور، وزن خشک و بنیه گیاهچه بذرهای حاصل از شرایط تنش شدید نسبت به آبیاری مطلوب کاهش یافت. تلقیح با باکتری ظهور گیاهچه بذرهای شرایط تنش متوسط را نه درصد افزایش داد. تلقیح بذرهای شرایط تنش متوسط و شدید با *آزوسپیریلوم*، سرعت ظهور، شاخص ظهور، وزن خشک و بنیه گیاهچه را افزایش داد. با به توجه تأثیر تنش کم‌آبی بر جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه، تلقیح این بذرها با *آزوسپیریلوم لیپوفروم*، ظهور و بنیه گیاهچه بذرهای حاصل از شرایط تنش کم‌آبی را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: بنیه گیاهچه، ظهور گیاهچه، محرک رشد، وزن خشک گیاهچه

مقدمه

یکی از مهمترین عوامل محیطی موثر در قدرت بذر، تنش خشکی در طی نمو بذر می‌باشد. تنش در این مرحله باعث ایجاد بذرهای چروکیده و سبک می‌شود که این عامل کاهش قدرت بذر را در پی خواهد داشت. دسی (Desai, 2004) عنوان کرد بررسی و ارزیابی کیفیت بذر از جایگاه ویژه‌ای در تولید، کنترل و گواهی بذر برخوردار است. ویرا و همکاران (Vieira et al., 1991) گزارش کردند کیفیت بذر سویا (*Glycine max* L.) علاوه بر ژنتیکی بودن این صفت تحت تأثیر عواملی است که در طی تولید بذر در مزرعه اتفاق می‌افتد که از جمله این عوامل نوسانات رطوبت شامل خشکی و درجه حرارت بالا می‌باشد. دلوچ (Delouche, 1973) ضمن انجام آزمون جوانه‌زنی بذر ۹۴ توده بذری سویا و نتایج مزرعه‌ای همان توده، به این نتیجه رسید که جوانه‌زنی پائین سبب میزان سبز ضعیف و کاهش درصد گیاهچه‌های تولید شده در مزرعه می‌گردد. وی بیان کرد که وجود همبستگی خوب بین میزان جوانه‌زنی و سبز شدن در مزرعه بویژه در شرایط ایده‌آل خاک، این موضوع را تأیید نمود. رابرتز (Roberts, 1984) بیان نمود که محدودیت عمده و اساسی آزمون جوانه‌زنی برای ارزیابی پتانسیل ظهور گیاهچه توده‌های بذری، به ناتوانی آن در تشخیص اختلاف کیفی موجود بین توده‌های بذری با میزان جوانه‌زنی بالا ارتباط دارد. الیس و رابرت (Elis & Roberts, 1980) عنوان کردند که منحنی بقای بذر از توزیع نرمال تبعیت می‌کند، لذا وجود میزان اختلاف جزئی در درصد جوانه‌زنی در شرایط پیری و زوال بذر در توده بذر در حال توسعه و پیشرفت، سبب بروز اختلافات زیاد در

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین، باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، دانشیار پژوهش مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی استان گلستان و استادیار پژوهش مؤسسهٔ تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کرج
(*- نویسنده مسئول: E-mail: hamedhadi9@yahoo.com)

تشخیص توده‌های بذری شده است. همچنین همپتون و کولبیر (Hampton & Coolbear, 1990) نیز عنوان کردند که اجرای آزمونی با قدرت تفکیک و تمایز دقیق‌تر مابین قوه زیست و قدرت بذر برای تعیین پتانسیل سبز کردن مزرعه‌ای لازم است.

قدرت بذر مجموع خصوصیاتی در بذر می‌باد که سطح بالقوه فعالیت و کارآیی بذر یا توده آن را به هنگام جوانه‌زنی و سبز شدن تعیین می‌نمایند (Hampton & TeKrony, 1995). *آزوسپیریلوم* به ذخیره پرولین در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) قرار گرفته در معرض تنش آب کمک کرد یعنی نقشی همچون محافظ اسمزی را ایفا نمود (Casanovas et al., 2002). پانت و باشان (Puente & Bashan, 1993) نیز تأثیر تلقیح بذرهای یک گونه کاکتوس (*Mammillaria Haw* L.) با باکتری *آزوسپیریلوم برازیلینس* را بر افزایش ظهور و بقای گیاهچه نشان دادند. رامورسی (Ramamoorthy, 2000) نشان دادند که تیمار بذر برنج (*Oriza sativa* L.) با *آزوسپیریلوم*، فعالیت آمیلاز را در طی جوانه‌زنی زیاد کرد، آنها همچنین بیان کردند که تراوش جیبرلین‌ها توسط این باکتری ممکن است دلیل این افزایش و هیدرولیزهای بعدی باشد که منجر به افزایش بنیه گیاهچه مشتمل بر سرعت جوانه‌زنی و طول گیاهچه و وزن خشک شده است. در تحقیقی تلقیح یک سویه *آزوسپیریلوم* به طور معنی‌داری ارتفاع گیاه و تعداد برگ‌های هر بوته را در گل پوششی رعنا زیبا (*Gaillardia aristata* L.) نسبت به شاهد افزایش داد (Gadagi Ravi et al., 2004).

گیاه در طول دوران رشد خود مواد غذایی مورد نیاز رشد را کسب می‌کند و این مواد را به اندام‌های هدف گیاه یعنی دانه‌ها منتقل می‌کند در صورتی‌که در دوران رشد گیاه میزان مواد غذایی اکتسابی توسط تنش کم‌آبی کم شود از میزان اندوخته دانه‌ها کاسته شده و همچنین ممکن است با تأثیر بر مکانیسم‌های فیزیولوژیک بذر، کیفیت آن را کاهش دهد. از طرف دیگر، باکتری‌ها به ویژه باکتری *آزوسپیریلوم* با توجه به اینکه توانایی که در تطبیق با شرایط را دارد و همچنین بواسطه موادی که شامل هورمون‌ها، ویتامین‌ها، محلول کردن اجزای غیرقابل جذب خاک با تأثیر بر مکانیسم‌هایی که بر افزایش کیفیت بذر موثرند، لذا استفاده از این باکتری‌ها با توجه به این هدف که بتواند تأثیر تنش کم‌آبی را کاهشی دهد و میزان ظهور گیاهچه بذرهای شرایط تنش کم‌آبی را در مقایسه با شاهد افزایش دهد. بنابراین این آزمایش با هدف بررسی اثر تلقیح با *آزوسپیریلوم لیپوفروم* بر ویژگی‌های گیاهچه‌های بذری حاصل از شرایط کم‌آبی ارقام آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی ویژگی‌های گیاهچه بذرهای حاصل از شرایط تنش کم‌آبی ارقام آفتابگردان در تلقیح با *آزوسپیریلوم لیپوفروم* آزمایشی در مزرعه آموزشی پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن در سال زراعی ۶۸-۱۳۸۵ اجرا گردید. تیمارها شامل تنش کم آبی (بذرهای تولید شده در شرایط آبیاری گیاهان مادری پس از مقادیر ۶۰ (آبیاری مطلوب)، ۱۲۰ (تنش متوسط) و ۱۸۰ (تنش شدید) میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A)، رقم (لاکومکا[1]، مستر[2]، فوریت[3]، سور[4] و آرماویرسکی[5] و باکتری (*Azospirillum lipoferum* و شاهد) بود. در مزرعه گیاهان مادری میزان آب در هر آبیاری ۳۴۰/۱ متر مکعب در هکتار و میزان کل آبیاری در هر سه آزمایش ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به ترتیب برابر ۵۴۴۲، ۳۰۶۱ و ۲۳۸۱ مترمکعب در هکتار بود. این میزان آبیاری براساس آزمایش‌های انجام شده در بخش دانه‌های روغنی مؤسسه اصلاح و تهیه بذر و نهال در نظر گرفته شد (Daneshian et al., 2009). بذرهای بدست آمده از آزمایش مزرعه‌ای، در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کرج برای بررسی قوه زیست و استفاده در معادله (۴) مورد بررسی قرار گرفت. بذرها قبل از کاشت با مایه تلقیح مایع و خالص باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* مایه تلقیح در آزمایشگاه و مزرعه که در هر میلی‌لیتر حاوی $۳/۸\times۱۰^{۷}$ سلول زنده و فعال بود تلقیح شدند. پس از تلقیح بذر تعداد جمعیت زنده باکتری روی بذر حدود $۱۰^{۴}$ بود. شمارش جمعیت زنده باکتری به روش پلیت کانت[6] بر روی محیط کشت آرسی[7]، در بخش خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. در آزمایشگاه، بذرها لابلای کاغذ جوانه‌زنی کشت و به مدت ۱۰ روز در دمای ۳۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. تعداد بذرهای جوانه‌زده روزانه ثبت گردید. در پایان، تعداد گیاهچه‌های عادی، غیرعادی، بذر پوسیده تعیین و میزان گیاهچه‌های عادی به عنوان قوه نامیه منظور گردید (Anonymus, 2008). با توجه به حجم اطلاعات و صفات مورد بررسی در این پژوهش، نتیجه قوه زیست بذر به صورت گروه-بندی شده ارائه گردید و مقدار عددی وزن بذر و درصد جوانه‌زنی جهت مقایسه آورده شد. در نهایت باید توانایی ظهور گیاهچه بذرها در مزرعه ارزیابی گردد. به دلیل استفاده از باکتری، آزمایش در مزرعه به صورت اسپلیت فاکتوریل اجرا شد که عامل باکتری در کرت اصلی قرار گرفت و بذر حاصل از شرایط تنش کم‌آبی و رقم به صورت فاکتوریل در آن واقع شد. برای آبیاری دو نهر جهت ورود و خروج آب

1- Lakomka
2- Master
3- Favorit
4- Sour
5- Armavirski
6- Plate count
7- RC

از مزرعه تعبیه گردید. در مزرعه هر واحد آزمایشی از چهار خط کاشت به فاصله ۶۰ سانتی‌متر و فاصله گیاهان روی ردیف ۲۲ سانتی‌متر بود. طول خط کاشت ۲/۵ متر بود و در هر کپه سه بذر قرار داده شد. بنابراین در هر کرت ۱۴۴ بذر قرار داده شد و روزانه تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده یادداشت و در نهایت به صورت درصد بیان شد. تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده تا ۱۵ روز پس از کاشت یادداشت گردیدند. سپس درصد ظهور اولیه گیاهچه‌ها (شش روز پس از کاشت)، درصد ظهور نهایی گیاهچه‌ها (۱۵ روز پس از کاشت)، زمان لازم برای ظهور ۵۰ درصد گیاهچه‌ها و زمان لازم برای حداکثر ظهور گیاهچه‌ها (برحسب تعداد روز از زمان کاشت) تعیین شدند. متوسط زمان ظهور گیاهچه‌ها[1] (روز) با استفاده از معادله (۱) تعیین شد (Orchard, 1977):

معادله (۱)
$$MET = \frac{\sum fx_i}{F}$$

در این معادله، fx_i: تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده در میانه دوره ظهور گیاهچه‌ها، x: (روز هفتم) و F: حداکثر تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده در این دوره هستند. همچنین، سرعت ظهور گیاهچه‌ها در مزرعه[2] (گیاهچه در روز) با در نظر گرفتن تاریخ نخستین آبیاری به عنوان تاریخ کاشت و با استفاده از معادله (۲) تعیین گردید:

معادله (۲)
$$FER = \frac{FFE}{D}$$

در این معادله، FFE: ظهور نهایی گیاهچه (درصد) و D: تعداد روز از کاشت تا پایان یادداشت برداری می‌باشد. سرعت ظهور تجمعی[3] گیاهچه‌ها در مزرعه نیز با استفاده از معادله (۳) مشخص گردید (Orchard, 1977):

معادله (۳)
$$CER = \frac{F_1}{D} + ... + \frac{F_i}{D}$$

در این معادله، F: تعداد گیاهچه‌های شمارش شده و D: تعداد روز تا شمارش نخست می‌باشد. شاخص ظهور گیاهچه در مزرعه[4] با استفاده از معادله (۴) محاسبه گردید (Ram et al., 1989).

معادله (۴)
$$FEI = \frac{F}{P} \times 100$$

در این معادله، F: ظهور نهایی گیاهچه در مزرعه و P: قوه زیست بذر[5] (درصد) می‌باشد. وزن خشک گیاهچه با قرار دادن در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و توزین با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۱ ± گرم تعیین گردید. سپس شاخص بنیه گیاهچه[6] گیاهچه[6] با استفاده از معادله (۵) تعیین گردید (Abdul-Baki & Aderson, 1973):

معادله (۵) شاخص قدرت گیاهچه = وزن خشک گیاهچه × ظهور نهایی گیاهچه

لازم به ذکر است که برای داده‌های درصد و سرعت از تبدیل زاویه‌ای استفاده گردید. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTAT-C (Ver. 2.0) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی وزن بذر به عنوان معیار ارزیابی وزن توده بذر در نظر گرفته شد و مشخص شد که وزن هر یک از ارقام با قرارگیری در شرایط کمی آب سبب اختصاص میزان مواد فتوسنتری کمتری به بذرها گردید و در نتیجه از میزان وزن آنها کاسته شد. قوه نامیه بذر حاصل از شرایط مختلف رطوبتی هر یک از ارقام در تلقیح با *آزوسپیریلوم* افزایش یافت. جوانه‌زنی بذر در شرایط تنش شدید ارقام آرماویرسکی و لاکومکا نسبت به آبیاری مطلوب کاهش یافت. ارقام مستر و فوریت تفاوتی نداشتند و در رقم سور به میزان کمی افزایش یافت. در رقم فوریت وزن بذر در شرایط تنش متوسط و شدید ۲۰ و ۳۵ درصد کاهش یافت، ولی جوانه‌زنی در شرایط تنش شدید تغییری نکرد (جدول ۱). ظهور گیاهچه از خاک علاوه بر اینکه به میزان قوه زیست بذر بستگی دارد، تحت تأثیر وضعیت خاک و عملیات آگروتکنیکی نیز قرار می‌گیرد، به طوری که حتی اگر بذری قوه نامیه بالایی داشته باشد، ولی بستر بذر خوب تهیه نشده باشد با توجه به اینکه الگوی جوانه‌زنی آفتابگردان برون خاک[7] می‌باشد، شاهد ظهور گیاهچه کمتری خواهیم بود. تلقیح بذر حاصل از شرایط آبیاری مطلوب رقم آرماویرسکی و بذر حاصل از شرایط تنش متوسط رقم مستر با *آزوسپیریلوم* سبب ظهور گیاهچه بیشتری گردید و بررسی مقادیر قوه نامیه نشان داد که بذرهای با ظهور گیاهچه بیشتر از خاک قوه نامیه بالاتری نیز داشتند (جدول ۲).

نتایج نشان داد که در بین تیمارها، تیمار عدم تلقیح بذرهای حاصل از شرایط تنش متوسط رقم آرماویرسکی با مقدار ۲۵ درصد از بیشترین میزان ظهور اولیه گیاهچه را داشت که نسبت به شرایط آبیاری مطلوب و تنش شدید به میزان قابل توجهی برتری نشان داد (جدول ۳).

1- Mean emergence time
2- Field emergence rate
3- Cumulative emergence rate
4- Field emergence index
5- Seed viability
6- Seedling vigor index
7- Epigeal

جدول ۱- میانگین وزن هزار بذر و میزان جوانه‌زنی هر یک از ارقام آفتابگردان در شرایط مختلف آبیاری

Table 1- Germination percentage and 1000 seed weight each sunflower cultivar under different irrigation condition

تنش کم آبی (میلی‌متر) Water deficit stress		جوانه‌زنی Germination (%)						وزن بذر Seed weight				
	رقم cultivar	آرماویرسکی Armavirsky	سور Sour	فوریت Favorit	مستر Master	لاکومکا Lakomka		آرماویرسکی Armavirsky	سور Sour	فوریت Favorit	مستر Master	لاکومکا Lakomka
آبیاری مطلوب	۶۰	97.8	94.4	100.0	98.9	100.0		64.2	77.0	60.9	73.3	85.4
تنش متوسط	۱۲۰	100.0	97.8	97.8	98.9	93.3		57.5	53.1	48.9	57.8	68.0
تنش شدید	۱۸۰	92.2	98.9	100.0	98.9	96.7		45.5	43.9	39.8	58.8	52.4
میانگین		96.7	97.0	99.3	98.9	96.7		58.4	58.0	49.9	63.3	68.6

در عین حال، با توجه به اینکه در تیمار عدم تلقیح، رقم آرماویرسکی شرایط آبیاری مطلوب و تنش شدید کمترین میزان ظهور اولیه را داشت، تلقیح با *آزوسپیریلوم* باعث بهبود افزایش ظهور اولیه گیاهچه نسبت به عدم تلقیح گردید (جدول ۳). باراسی و همکاران (Barassi et al., 2006) گزارش کردند که بذر کاهو (*Lactuca sativa* L.) تلقیح شده با *آزوسپیریلوم* به طور معنی‌داری درصد جوانه‌زنی بالاتری نسبت به تیمار شاهد داشتند. به طور کلی تلقیح با باکتری تحریک کننده رشد گیاه می‌تواند جوانه‌زنی، ظهور گیاهچه و رشد و عملکرد غلات گوناگون و محصولات غیرغله‌ای را افزایش دهد (Zahir et al., 2004). بیشترین میزان ظهور گیاهچه را تیمار تلقیح با *آزوسپیریلوم* بذر شرایط آبیاری مطلوب رقم آرماویرسکی با مقدار ۸۰ درصد داشت و با تیمار تلقیح با *آزوسپیریلوم* بذرهای شرایط تنش متوسط رقم مستر در گروه آماری مشابهی قرار گرفت. بذرهای حاصل از شرایط تنش متوسط و شدید به ترتیب ۱۲ و ۳۹ ظهور گیاهچه کمتری داشتند (جدول ۳).

تلقیح با باکتری سبب افزایش ظهور گیاهچه بذرهای حاصل از شرایط آبیاری مطلوب و تنش متوسط گردید در حالی‌که بذرهای حاصل از شرایط تنش شدید به تیمار تلقیح پاسخ نشان نداد (جدول ۳). کلوپر و همکاران (Kloepper et al., 1986) سویه‌هایی از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه را یافتند که در شرایط گلخانه درون گلدان‌های حاوی محیط کشت خاکی و نیز در مزرعه، موجب افزایش ظهور گیاهچه‌های سویا (*Glycine max* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.) شدند. این باکتری‌ها سرعت ظهور گیاهچه‌ها در مزرعه و استقرار بوته را افزایش دادند (Kloepper et al., 1991). بررسی‌های انجام شده روی کلزا (*Brassica napus* L.) مشخص ساخت که تحت شرایط مزرعه باکتری سرعت ظهور گیاهچه را افزایش داد. این افزایش همراه با توسعه سطح برگ گیاهچه بوده است. همچنین، محصولاتی نظیر گوجه فرنگی (*Lycopersicum esculentum* L.)، هویج (*Daucus sativus* L.)، گندم (*Triticum sativum* L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، لوبیا سفید (*Phaseolus vulgare* L.) و یونجه (*Medicago sativa* L.) نیز نشان دادند (Kloepper et al., 1986). با توجه به اینکه متوسط زمان ظهور گیاهچه نشان‌دهنده تعداد روز مورد نیاز ظهور گیاهچه می‌باشد تیمار عدم تلقیح بذرهای حاصل از شرایط آبیاری مطلوب رقم آرماویرسکی از تعداد روزهای کمتری برخوردار بود و در شرایط تنش متوسط و شدید به ترتیب ۶۹ و ۲۳ درصد کاهش نشان داد و تلقیح با *آزوسپیریلوم* باعث افزایش تعداد روزهای ظهور گیاهچه گردید. در اکثر ارقام، تلقیح با باکتری سبب افزایش سرعت ظهور گیاهچه نسبت به تیمار عدم تلقیح گردید. تیمار بذرهای حاصل از شرایط تنش متوسط رقم مستر در تلقیح با *آزوسپیریلوم* با مقدار ۱۱۴ درصد از سرعت ظهور گیاهچه بالاتری برخوردار بود و نسبت به عدم تلقیح ۴۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). واسودوان و همکاران (Vasudevan et al., 2002) ظهور گیاهچه واستقرار بوته سریع‌تر برنج (*Oryza sativa* L.) در اثر کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه را مشاهده کردند.

تیمار بذر حاصل از شرایط آبیاری مطلوب رقم آرماویرسکی در تلقیح با *آزوسپیریلوم* از بیشترین میزان شاخص ظهور گیاهچه برخوردار بود و با تیمار بذر حاصل از شرایط تنش متوسط رقم مستر در تلقیح با *آزوسپیریلوم* در گروه آماری مشابهی قرار گرفت. بذرهای حاصل از شرایط تنش متوسط رقم مستر در تلقیح با *آزوسپیریلوم* علاوه بر اینکه از ظهور گیاهچه، سرعت ظهور گیاهچه و سرعت ظهور تجمعی بالاتری برخوردار بودند، دارای توانایی شاخص ظهور گیاهچه بالاتر و همچنین استقرار بهتری نیز داشتند. تیمار تلقیح با *آزوسپیریلوم* رقم مستر حاصل از شرایط تنش متوسط و شدید با مقدار ۰/۱۱۵ گرم، بیشترین وزن خشک ساقه را در بین ترکیب‌های تیماری داشت و نسبت به شرایط آبیاری مطلوب ۳۵ درصد افزایش وزن نشان داد. وزن خشک ساقه حاصل از بذر شرایط تنش متوسط رقم مستر و تلقیح شده با *آزوسپیریلوم* با مقدار ۰/۲۸۰ گرم بیشترین مقدار را داشت. در عین حال نسبت به شرایط آبیاری مطلوب ۴۸ درصد و نسبت به عدم تلقیح ۵۸ درصد افزایش وزن را نشان داد. تیمار عدم تلقیح بذرهای حاصل از شرایط تنش شدید رقم مستر با تیمار تلقیح با *آزوسپیریلوم* بذرهای حاصل از شرایط تنش متوسط و شدید رقم مستر در گروه آماری مشابهی قرار گرفت (جدول ۳). تیمار تلقیح با *آزوسپیریلوم* بذرهای حاصل از شرایط تنش متوسط رقم مستر با توجه به اینکه از وزن خشک برگ، ساقه، دمبرگ بیشتری برخوردار بودند

سبب داشتن وزن خشک بیشتر گیاه نیز گردید و نسبت به شرایط آبیاری مطلوب و تنش شدید به ترتیب ۴۵ و ۱۶ درصد افزایش و نسبت به تیمار عدم تلقیح ۵۴ درصد افزایش یافت (جدول ۳). ملا و شمس‌الدین (Molla & Shamsuddin, 2001) اظهار داشتند ماده خشک ریشه و ماده خشک اندام‌های هوایی سویا در نتیجه تلقیح با باکتری آزوسپیریلوم به طور معنی‌داری افزایش یافت.

در بررسی که بذر آفتابگردان با *آزوسپیریلوم لیپوفروم* تلقیح شد در آزمون جوانه‌زنی افزایش معنی‌داری را روی وزن تر گیاهچه و همچنین اثر مستقیمی روی توسعه ریشه گیاهچه نشان داد (Fages & Arsac, 1991). فولچیری و همکاران (Fulchieri et al., 1993) تولید انواع اکسین، اسید جیبرلیک و اسید ایزوجیبرلیک توسط باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* را مسئول افزایش قابل ملاحظه رشد و نمو ذرت دانستند. در تحقیقی تلقیح یک سویه *آزوسپیریلوم* به طور معنی‌داری ارتفاع گیاه، تعداد برگ‌های هر بوته و انشعابات هر بوته را در گل رعنا نسبت به شاهد افزایش داد (Gadagi et al., 2004). بیشترین میزان بنیه از بذرهای حاصل از شرایط تنش متوسط رقم مستر در تلقیح با *آزوسپیریلوم لیپوفروم* بدست آمد. بنابراین، مشخص شد که بذرهایی که قوه نامیه بالاتری داشتند، ظهور گیاهچه بهتری نیز از خاک دارند. آزوسپیریلوم زمان ظهور گیاهچه، بنیه گیاهچه، وزن خشک را نسبت به عدم تلقیح افزایش داد. ظهور اولیه گیاهچه بذر شرایط تنش متوسط بیش از شرایط آبیاری مطلوب بود. ظهور نهایی، سرعت ظهور، شاخص ظهور، وزن خشک و بنیه گیاهچه بذرهای حاصل از شرایط تنش شدید نسبت به آبیاری مطلوب کاهش یافت. کاربرد باکتری ظهور گیاهچه بذرهای شرایط تنش متوسط را افزایش داد. با تلقیح بذرهای شرایط تنش کم‌آبی با آزوسپیریلوم، ویژگی‌های گیاهچه افزایش یافت.

جدول ۲ – میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی و باکتری بر قوه نامیه بذر آفتابگردان

Table 2- mean square of interaction effect of water deficit and bacteria on seed viability of sunflower

آرماویرسکی Armavirsky			سور Sour			فوریت Favorit			مستر Master			لاکومکا Lakomka			تنش کم‌آبی (میلی‌متر) Water deficit stress	تلقیح با باکتری Inoculation with bacteria
180	120	60	180	120	60	180	120	60	180	120	60	180	120	60		
82 abc	65 de	80 a-d	56 e	3 g	2 g	79 a-d	87 ab	86 ab	39 f	74 bcd	82 abc	78 a-d	85 ab	68 cde*		Control شاهد
92 a	89 ab	91 ab	83 abc	82 abc	84 ab	83 abc	90 ab	90 ab	82 abc	89 ab	92 a	92 a	92 a	86ab		*Azospirillum* آزوسپیریلوم

*در هر رقم سطوح تیماری که دارای حداقل یک حروف مشابه هستند با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد در گروه آماری مشابهی قرار دارند.

*Means in each cultivar followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level, using DMRT test.

جدول ۳ - میانگین اثر متقابل باکتری× تنش کم آبی×رقم بر میزان ظهور و ویژگی‌های گیاهچه آفتابگردان

Table 3- Interaction effect of bacteria, water deficit stress and cultivar on seedling characteristics

تلقیح با باکتری Inoculation with bacteria	تنش کم آبی Water deficit stress	رقم Cultivar	سرعت ظهور گیاهچه تجمعی (گیاهچه) Cumulative seedling emergence rate	سرعت ظهور گیاهچه (گیاهچه در روز) Seedling emergence rate (seedling in day)	متوسط زمان ظهور گیاهچه (روز) Mean seedling emergence (d)	ظهور نهایی گیاهچه (درصد) Final seedling emergence (%)	ظهور اولیه گیاهچه (درصد) Primary seedling emergence (%)
شاهد Control	آبیاری مطلوب Normal irrigation 60	لاکومکا Lakomka	65.59 hi*	7.80 ef	16.47 m	54.00 mn	7.671 i
		مستر Master	83.67 ef	8.67 cd	19.10 i	62.67 gh	9.67 jk
		فوریت Favarit	100.9 bc	10.20 b	24.00 fgh	64.67 fg	18.00 b
		سور Sour	102.10 b	9.00 cd	23.40 ghi	62.67 gh	16.00 cde
		آرماویرسکی Armavirsky	32.65 m	3.77 k	8.37 p	26.00 q	3.00 o
	تنش متوسط Mild stress 120	لاکومکا Lakomka	67.35 h	8.47 cde	14.73 n	59.00 ijk	8.67 jkl
		مستر Master	67.25 h	8.50 cde	12.67 o	59.00 ijk	10.00 j
		فوریت Favarit	78.19 fg	6.57 hi	18.57 i	45.33 o	15.00 d-g
		سور Sour	102.10 b	8.80 cd	22.87 hi	61.33 hi	16.67 bcd
		آرماویرسکی Armavirsky	98.58 bc	9.97 b	27.20 c	68.00 de	25.00 a
	تنش شدید Severe stress 180	لاکومکا Lakomka	67.17 h	8.27 def	18.60 i	58.67 i-l	12.67 hi
		مستر Master	93.75 cd	8.97 cd	24.3 efg	59.67 hij	14.00 fgh
		فوریت Favarit	99.25 bc	10.27 b	21.27 jk	66.00 ef	15.67 c-f
		سور Sour	85.51 ef	7.67 fg	20.67 k	51.67 n	13.33 ghi
		آرماویرسکی Armavirsky	49.88 kl	6.20 ij	12.40 o	41.00 p	3.00 o
آزوسپیریلوم *Azospirillum*	آبیاری مطلوب Normal irrigation 60	لاکومکا Lakomka	88.3 de	10.20 b	23.40 ghi	70.00 cd	18.00 b
		مستر Master	87.08 de	10.17 b	18.10 i	69.67 cd	6.00 m
		فوریت Favarit	112.90 a	11.20 a	30.47 a	74.33 b	12.00 i
		سور Sour	59.20 ij	7.07 gh	16.17 m	48.00 o	5.67 mn
		آرماویرسکی Armavirsky	112.50 a	11.37 a	26.17 cd	80.00 a	5.33 mn
	تنش متوسط Mild stress 120	لاکومکا Lakomka	96.00 bc	8.40 de	25.50 de	59.00 ijk	14.00 fgh
		مستر Master	114.00 a	11.37 a	25.50 de	79.00 a	18.00 b
		فوریت Favarit	70.28 h	8.97 cd	18.80 i	55.33 lm	14.67 efg
		سور Sour	66.96 h	8.40 de	16.27 m	58.33 i-l	9.67 jk
		آرماویرسکی Armavirsky	112.30 a	10.50 b	28.50 b	71.67 bc	18.00 b
	تنش شدید Severe stress 180	لاکومکا Lakomka	71.67 gh	8.77 cd	25.20 def	61.00 hij	17.33 bc
		مستر Master	81.59 ef	6.90 h	22.57 i	56.00 klm	14.67 efg
		فوریت Favarit	46.28 i	5.70 j	11.57	41.00 p	4.00 no
		سور Sour	56.05 jk	5.97 ij	14.77 n	41.33 p	8.00 kl
		آرماویرسکی Armavirsky	97.01 bc	9.20 c	22.37 ij	57.67 ijk	15.33 def

* Means in each column and treatment followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level, using DMRT test.

*در هر ستون سطوح تیماری که دارای حداقل یک حروف مشابه هستند با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد در گروه آماری مشابهی قرار دارند.

ادامه جدول ۳
Continue of table 3

تلقیح با باکتری Inoculation with bacteria	تنش کم آبی Water deficit stress	رقم Cultivar	شاخص ظهور گیاهچه Seedling emergence index	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry weight (g)	وزن خشک برگ (گرم) Lead dry weight (g)	وزن خشک دمبرگ (گرم) Petiole dry weight (g)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight (g)	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index
شاهد Control	آبیاری مطلوب Normal irrigation 60	لاکومکا Lakomka	54.11 k*	0.105 abc	0.220 cd	0.021 def	0.346 bc	17600 de
		مستر Master	66.41 efg	0.085 e-h	0.155 h-l	0.014 jkl	0.254 g-k	15040 e-h
		فوریت Favarit	67.72 def	0.083 fgh	0.162 h-k	0.018 gh	0.262 g-j	15830 d-g
		سور Sour	62.67 gh	0.103 bcd	0.168 g-j	0.023 cd	0.293 efg	16940 def
		آرماویرسکی Armavirsky	26.63 n	0.050 jk	0.150 h-n	0.011 m	0.211 l-p	5206 o
	تنش متوسط Mild stress 120	لاکومکا Lakomka	59.45 hi	0.055 ijk	0.138 j-o	0.011 m	0.204 m-p	11330 ijk
		مستر Master	60.38 hi	0.063 i	0.118 nop	0.015 jkl	0.195 n-q	10660 jkl
		فوریت Favarit	45.32 i	0.056 ij	0.156 h-l	0.006 n	0.218 k-o	9592 klm
		سور Sour	65.56 fg	0.044 kl	0.114 op	0.007 n	0.165 qr	9643 klm
		آرماویرسکی Armavirsky	69.69 c-f	0.082 fgh	0.130 k-o	0.027 b	0.239 i-m	14460 fgh
	تنش شدید Severe stress 180	لاکومکا Lakomka	58.81 hij	0.050 jk	0.091 p	0.011 m	0.152 r	8301 lmn
		مستر Master	60.50 hi	0.078 gh	0.178 f-i	0.033 a	0.288 fgh	15260 efg
		فوریت Favarit	67.47 def	0.058 ij	0.130 k-o	0.023 c	0.211 l-p	12410 hij
		سور Sour	52.24 k	0.075 h	0.147 h-o	0.017 hi	0.239 i-m	11480 ijk
		آرماویرسکی Armavirsky	41.21 m	0.052 ijk	0.120 m-p	0.011 m	0.183 o-q	7087 mno
Azospirillum آزوسپیریلوم	آبیاری مطلوب Normal irrigation 60	لاکومکا Lakomka	70.72 cd	0.113 ab	0.200 def	0.019 fg	0.232 cd	21860 c
		مستر Master	70.40 cde	0.075 h	0.145 i-o	0.015 ij	0.235 j-n	15380 efg
		فوریت Favarit	75.13 b	0.089 efg	0.195 d-g	0.020 efg	0.303 def	21060 c
		سور Sour	51.91 k	0.077 gh	0.153 h-m	0.019 fg	0.249 hi	10990 jkl
		آرماویرسکی Armavirsky	83.82 a	0.093 def	0.259 ab	0.026 b	0.378 b	28220 b
	تنش متوسط Mild stress 120	لاکومکا Lakomka	59.59 hi	0.103 bcd	0.205 def	0.022 cde	0.330 cde	18140 d
		مستر Master	80.71 a	0.115 a	0.280 a	0.032 a	0.427 a	31160 a
		فوریت Favarit	55.21 jk	0.074 h	0.177 f-i	0.014 jkl	0.264 f-j	13830 ghi
		سور Sour	60.23 hi	0.055 ijk	0.148 h-n	0.013 klm	0.216 k-o	11810 ijk
		آرماویرسکی Armavirsky	73.38 bc	0.088 efg	0.238 bc	0.023 cd	0.349 bc	23380 c
	تنش شدید Severe stress 180	لاکومکا Lakomka	61.53 hi	0.095 cde	0.162 h-k	0.027 b	0.284 fgh	15620 d-g
		مستر Master	58.09 ij	0.115 a	0.210 cde	0.032 a	0.357 bc	18290 d
		فوریت Favarit	41.35 m	0.060 ij	0.165 g-j	0.016 ij	0.241 i-m	9204 k-n
		سور Sour	41.21 m	0.037 l	0.125 l-o	0.012 lm	0.174 pqr	6667 no
		آرماویرسکی Armavirsky	59.86 hi	0.078 gh	0.180 e-h	0.019 fg	0.277 f-i	14880 e-h

*در هر ستون سطوح تیماری که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد در گروه آماری مشابهی قرار دارند.

* Means in column and treatment followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level, using DMRT test.

منابع

1- Abdul-Baki, A.A., and Aderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean by multiple criteria. Crop Science 13: 630-633.

2- Anonymus. 2008. Handbook for Seedling Evaluation (3rd ed). International Seed Testing Association (ISTA), Zurich, Switzerland.

3- Casanovas, E.M., Barassi, C.A., and Sueldo, R.J. 2002. *Azospirillum* inoculation mitigates water stress effects in maize seedlings. Cereal Research Communications 30: 343-350.

4- Delouche, J.C. 1973. Seed vigor in soybeans. Proceedings of the 3rd Soybean Seed Research Conference 3: 56-72.

5- Desai, B.B. 2004. Seeds Hand Book, Biology, Production, Processing and Storage (2nd ed.) Marcel Dekker, Inc., New York, USA. 787 pp.

6- Daneshian, J., Hadi, H., and Jonoubi, P. 2009. Study of quantitative and quality characteristics of soybean genotypes in deficit irrigation condition. Iranian Journal of Crop Science 11(4): 393-409. (In Persian with English Summary)
7- Elis, R.H., and Roberts, E.H. 1980. Towards a rational basis for testing seed quality. In: Seed Production (ed. P.D. Hebblethwaite), p. 605-645, Butterworths, London.
8- Fages, J., and Arsac, J.F. 1991. Sunflower inoculation with *Azospirillum* and other plant growth promoting *rhizobacteria*. Plant and Soil 137: 87-90.
9- Fulchieri, M., Lucangeli, C., and Bottini, R. 1993. Inoculation with *Azospirillum* affects growth and gibberllin status of corn seedling roots. Plant and Cell Physiology 34: 1305-1309.
10- Gadagi Ravi S., Krishnaraj, P.U., Kulkarni, J.H., and Tongmin, S. 2004. The effect of combined *Azospirillum* inoculation and nitrogen fertilizer on plant growth promotion and yield response of the blanket flower Gaillardia pulchella. Scientia Horticulturae 100: 323-332.
11- Hampton, J.G., and Coolbear, P. 1990. Seed Potential versus actual seed performance can vigor testing provide an answer? Seed Science and Technology 18: 215-228.
12- Hampton, J.G., and TeKrony, D.M. 1995. Handbook of Vigor Test Methods (3rd Ed.) International Seed Testing Association (ISTA). Zurich, Switzerland.
13- Kloepper, J.W., Scher, F.M., Labiret, E.M., and Tipping, B. 1986. Emergence Promoting *Rhizobacteria*: Descriptions and Implications for Agriculture. pp: 155-164. In: Iron, Sidrophores and Plant Disease. Ed., Swinburne, T.R., Plenume, New York.
14- Kloepper, J.W., Zablotowicz, R.M., Tipping, E.M., and Lifshitz, R. 1991. Plant Growth Promoting Mediated by Bacterial Rhizosphere Colonizers, p. 315-326. In: The rhizosphere and plant growth. Eds., Keister, D.L., and Cregan, P.B., Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
15- Molla, A.H., and Shamsuddin, Z.H. 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.
16- Orchard, T. 1977. Estimating the Parameters of Plant Seedling Emergence. Seed Science and Technology 5: 61-69.
17- Puente, M.E., and Bashan, Y. 1993. Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* strains on germination and seedling growth of the giant columnar cardon cactus (*Pachycereus pringlei*). Symbiosis 15: 49-60.
18- Ram, C., Kumari, P., Singh, O., and Sardana, R.K. 1989. Relationship between seed vigor tests and field emergence in chickpea. Seed Science and Technology 17: 169-177.
19- Roberts, E.H. 1984. The control of seed quality and its relationship to crop productivity. Proceedings of the Australian Seeds Research Conference, p. 11-25.
20- Vasudevan, P., Reddy, M.S., Kavitha, S., Velusamy, P., David PaulRaj, R.S., Purushothaman, S.M., Brindha Priyadarisini, V., Bharathkumar, S., Kloepper, J.W., and Gnanamanickam, S.S. 2002. Role of biological preparations in enhancement of rice seedling growth and grain yield. Current Science 83: 1140-1143.
21- Vieira, R.D., D.M., Tekrony, and Egli, D.B. 1991. Effect of drought stress on soybean seed germination and vigor. Journal of Seed Technology 16: 12-21.
22- Zahir, A.Z., Arshad, M., and Frankenberger, W.F. 2004. Plant growth promoting *rhizobacteria* applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy 81: 97-168.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، ص. ۳۳۶-۳۲۸

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 328-336

تأثیر قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر برخی خصوصیات جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط تنش خشکی

مهدی قبولی[۱]، فرج ا... شهریاری[۲]، مژگان سپهری[۳] و حسن مرعشی[٤] و قاسم حسینی سالکده[۵*]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۴/۰۳

چکیده

اندوفیت‌های میکروبی که از مهمترین میکروارگانیسم‌های خاک محسوب می‌شوند با ایجاد تغییرات ژنتیکی، فیزیولوژیکی و اکولوژیکی در گیاهان میزبان خود، عملکرد آنها را در واحد سطح افزایش می‌دهند و امکان توسعه کشت آنها در خاک‌های شور، خشک یا اقلیم‌هایی با تنش‌های غیر زیستی و زیستی را فراهم می‌آورند. قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* دارای خاصیت برانگیختگی رشد گیاه و افزایش مقاومت آن به تنش‌های محیطی از جمله خشکی، شوری و نیز بیماری‌های گیاهی می‌باشد. این پژوهش به بررسی توان قارچ اندوفیت *P. indica* در بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) به تنش خشکی می‌پردازد. بدین منظور، در سال ۱۳۸۹، آزمایش گلخانه‌ای در گلخانه پژوهشکده بیوتکنولوژی اصفهان در قالب طرح کاملا تصادفی (آزمایش فاکتوریل) با دو فاکتور شامل دو سطح قارچ (تلقیح و عدم تلقیح) و سه سطح خشکی (ظرفیت زراعی (F.C.)، ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) با چهار تکرار انجام گرفت. نتایج حاصله نشان داد که قارچ *P. indica* سبب افزایش زیست توده اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان شاهد بود، بطوریکه وزن خشک اندام هوایی و ریشه در گیاهان تلقیح شده نسبت به شاهد به ترتیب ۳۹ و ۴۶ درصد افزایش نشان داد. همچنین در شرایط تنش محتوای نسبی آب گیاهان تلقیح شده بالاتر بود. علاوه بر فعالیت تحریک کنندگی رشد گیاه توسط قارچ نتایج حاکی از نقش موثر این قارچ در بهبود خصوصیات گیاه جو تحت شرایط تنش خشکی خصوصاً در سطح ۲۵F.C. درصد دلالت دارد. با توجه به این نتایج و نیز امکان کشت این قارچ در محیط کشت مصنوعی و بدون حضور میزبان، به نظر می‌رسد که امکان استفاده از این قارچ به عنوان عامل محرک رشد گیاه در تولید کود بیولوژیک برای انواع گیاهان زراعی وجود دارد و این قارچ می‌تواند نقش مهمی در نیل به کشاورزی پایدار ایفاء نماید. همچنین با توجه به شرایط اقلیمی کشور ایران استفاده از این قارچ برای بهبود رشد و عملکرد گیاهانی نظیر جو، گندم و غیره تحت شرایط خشکی می‌تواند سودمند واقع شود.

واژه‌های کلیدی: تلقیح، تنش‌های محیطی، قارچ‌های میکوریزی، کشاورزی پایدار

مقدمه

با توجه به تلاش‌ها و تحقیقات گسترده جهانی محققان در دهه‌های اخیر برای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، تامین غذای بشر هنوز چالش عمده‌ای محسوب می‌شود. عوامل اصلی کاهش عملکرد محصولات، تنش‌های زیستی و غیرزیستی ناشی از شرایط آب و هوایی نامطلوب و آفات و بیماری‌های گیاهی می‌باشد (Waller et al., 2005). خشکی شایع‌ترین تنش محیطی است که به عنوان اصلی‌ترین عامل کاهش عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شود. بخش وسیعی از زمین‌های تحت کشت محصولات عمده کشاورزی همانند گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) در مناطق خشک و نیمه خشک ایران قرار گرفته است و این گیاهان در معرض شرایط نامطلوب محیطی مانند شوری و خشکی قرار دارند. پاسخ گیاهان به تنش خشکی بسیار پیچیده است و شامل تغییرات کشنده و سازگارشونده می‌باشد. در راستای سازگاری گیاه به شرایط آب و هوایی خشک، تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و تجمع متابولیت‌های جدید همزمان با تغییرات ساختاری موجب افزایش کارایی و عملکرد گیاه تحت شرایط تنش‌زا می‌گردد. از اینرو،

۱، ۲، ۳، ۴ و ۵- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه بیوتکنولوژی و بهنژادی گیاهی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، استادیار گروه بیوتکنولوژی و بهنژادی گیاهی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد و دانشیار پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی کرج
(*- نویسنده مسئول: (E-mail: h_salekdeh@abrii.ac.ir

درک بهتر روابط محیط و ژنوتیپ گیاه و بررسی خصوصیات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی گیاه در شرایط نامساعد محیطی به خصوص تنش خشکی باعث درک بهتر نحوه سازگاری گیاه و وقایع دخیل در مکانیسم‌های تحمل به خشکی خواهد شد. از اینرو، افزایش توان گیاهان برای تحمل تنش‌های محیطی ناشی از کمبود آب و حضور املاح اضافی در خاک، از نظر افت عملکرد مهم می‌باشد (Sminorff, 1993). روش‌های بیولوژیک مبتنی بر استفاده از پتانسیل ارگانیسم‌های مفید خاکزی در برقراری روابط همزیستی با گیاهان، نقش موثری در افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی بر عهده دارند. از بین گروه‌های مختلف میکروبی خاک، باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (دی‌آزوتروف‌ها)، میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات‌های نامحلول، باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه[1] و قارچ‌های میکوریزا از اجزای اصلی و مهم سیستم پایدار خاک- میکروب- گیاه به شمار می‌آیند (Bohnert & Jensen, 1996).

یکی از مهمترین روابط همزیستی در عالم حیات که در طی دوره تکامل به وجود آمده است، همزیستی میکوریزا می‌باشد که در آن، ریشه گیاه با قارچ به صورت یک واحد زنده فعالیت می‌کنند و از یکدیگر سود می‌برند. قارچ‌های میکوریزا وزیکولار- آربوسکولار[2] از جمله قارچ‌های سودمند محسوب می‌شوند. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار[3] با فراهم نمودن سطح جذب‌کننده وسیع‌تری برای انتقال عناصر غذایی موجود در خاک به ریشه گیاهان، سبب بهبود رشد گیاه می‌گردند. از دیگر مزایای این ارتباط مفید می‌توان به تولید انواع هورمون‌های محرک رشد گیاه (از جمله اکسین، سیتوکینین و ...)، افزایش عملکرد محصول، افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماریزای ریشه، کمک به کاهش تنش‌های محیطی (حرارت، شوری و آلودگی خاک به سموم یا فلزات سنگین) و از همه مهمتر کاهش مصرف کودهای شیمیایی اشاره نمود (Krich et al., 2000). قارچ‌های میکوریزا AM همزیست اجباری هستند، زیرا روی محیط‌های غذایی متداول به سهولت رشد نمی‌کنند و تولید انبوه مایه تلقیح معمولاً با روش تکثیر این قارچ در مجاورت سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان مناسب انجام می‌شود که این خود سبب ایجاد مشکلات متعددی در زمینه تولید مایه تلقیح شده و چالش عظیمی در علم میکوریزا بوجود آورده است. تاکنون تحقیقات متعدد مولکولی در زمینه شناسایی و برطرف نمودن موانع ژنتیکی عدم رشد قارچهای میکوریزا در محیطهای مصنوعی و امکان تکثیر سریع و تولید انبوه این قارچها به منظور تولید کود بیولوژیک و استفاده از آن در برنامه‌های کشاورزی پایدار به عمل آمده، اما متأسفانه هیچ یک از آنها چندان موفقیت‌آمیز نبوده است. قارچ *P. indica* از قارچ‌های اندوفیت است که در سال ۱۹۹۸ توسط وارما و همکاران (Varma et al., 1998) از خاک ریزوسفری گیاهان خشکی‌پسند کهور (*Prosopis juliflora* DC.) و کنار (*Zizyphus nummularia* W.) از صحرای تار[4] ایالت راجستان[5] کشور هندوستان جداسازی شد. *P. indica* دارای دامنه وسیعی از گیاهان میزبان است که با کلنیزاسیون ریشه آنها سبب تحریک شدید رشد میزبانهای خود می‌گردد. *P. indica* با تعداد زیادی از گیاهان عالی (تک و دولپه‌ای) رابطه همزیستی برقرار می‌نماید. این گیاهان شامل انواع خشکی‌پسند، بوته‌های یکساله و چندساله و درختان چوبی می‌باشند (Singh et al., 2000). تأثیر تلقیح قارچ *P.indica* در افزایش زیست توده گیاهان دیگری نظیر ذرت (*Zea mays* L.)، تنباکو (*Nicotiana tabaccum* L.)، جعفری (*Petroselinum crispum* L.)، درمنه (*Artemisia annula* L.) و درخت سپیدار (*Bacopa monnieri* L.) توسط وارما و همکاران (Verma et al., 1998) نیز گزارش شده است. نتایج حاصل از مطالعات آنها حاکی از افزایش زیست توده اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان تلقیح‌شده با قارچ به میزان دو برابر نسبت به گیاهان شاهد تلقیح نشده بود. اثر تحریک‌کنندگی رشد این قارچ بر گیاهان بقولات شامل نخود (*Cicer arietinum* L.)، نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) لوبیا (*Phaseolus aereus* L.) و سویا (*Glycine max* L.)، گیاه دارویی *Adhatoda vasica* L. و اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) نیز اثبات شده است (Rai & Varma, 2001; Rai & Varma, 2005; Varma et al., 2004). با تلقیح بعضی از گیاهان متعلق به خانواده شب‌بو شامل کلم (*Brassica oleracea* L.)، اسفناج و خردل (*Brassica juncea* L.) با قارچ *P. indica* افزایش رشد این گیاهان را در مقایسه با گیاهان شاهد مشاهده شد. نتیجه این تحقیق نشان داد که بر خلاف قارچهای میکوریزی آربوسکولار که قادر به ایجاد همزیستی با گیاهان خانواده شب‌بو نمی‌باشند، قارچ *P. indica* واجد این توانایی است و اثر تحریک‌کنندگی رشد بر اعضای این خانواده را نیز دارد (Kumari et al., 2003). قارچ *P. indica* برخلاف قارچهای میکوریزا آربوسکولار که همزیست اجباری گیاهان میزبان هستند، همزیست اختیاری می‌باشد و به آسانی در محیطهای کشت مصنوعی قادر به رشد است. دامنه میزبانی این قارچ و توان کشت بر روی محیط کشت مصنوعی نقطه روشنی در علم میکوریزا ایجاد کرده و محققان فعال در عرصه میکوریزا را امیدوار به کشت و تکثیر این قارچ میکوریزا بدون نیاز به کشت همراه با گیاه میزبان نموده است (Varma et al., 1998).

اهمیت برقراری ارتباط همزیستی قارچ *P. indica* با گیاهان مختلف در تحریک رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد آن و نیز

1- Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)
2- Vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM)
3- Arbuscular mycorrhizae (AM)

4- Thar
5- Rajasthan

افزایش توان تحمل گیاه به تنش‌های شوری، خشکی و عوامل بیماریزای ریشه و برگ توسط محققین مختلف گزارش شده است (Kumari et al., 2003; Rai et al., 2001; Rai & Varma, 2005; Waller et al., 2005; Sepehri et al., 2009). اثرات مثبت ناشی از برقراری رابطه همزیستی قارچ اندوفیت *P. indica* بر بقا و افزایش رشد گیاهان میزبان در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان که با دو معضل عمده خشکی و شوری روبرو هستند، توجه پژوهشگران را به خود جلب نموده است. جمع‌آوری جدایه‌های مختلف این قارچ از خاک مناطق بیابانی و مراتع و استفاده از آنها به عنوان یکی از ذخایر ژنتیکی مهم مناطق مذکور در برنامه‌های به‌زراعی، در رأس این پژوهش‌ها قرار دارد و از این راه می‌توان از پتانسیل بالای مراتع و بیابان‌ها نیز در جهت نیل به کشاورزی پایدار استفاده کرد.

بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی توان قارچ اندوفیت *P. indica* در بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاه جو به تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه، تشخیص و تکثیر مایه تلقیح قارچ *P. indica*

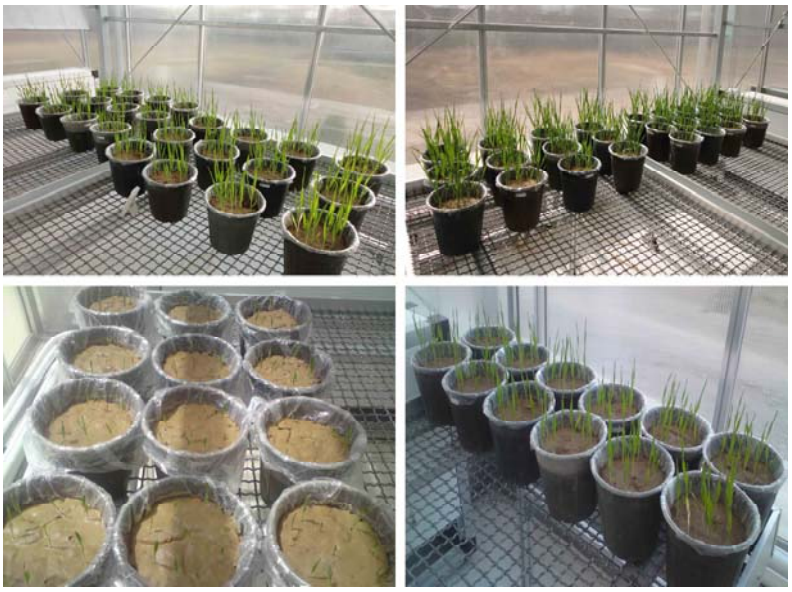
مایه تلقیح اولیه قارچ از آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشگاه صنعتی اصفهان تهیه گردید (مایه تلقیح ابتدایی از کشور آلمان تهیه شده است). توسط اسکالپل مقداری از قارچ از سطح محیط کشت جدا شده و با استفاده از رنگ‌آمیزی فوشین اجسام کروی و میسیلیوم‌های قارچ در زیر میکروسکوپ نوری مشاهده شد. تولید مایه تلقیح قارچ برای آلوده ساختن ریشه گیاه، مستلزم وجود تعداد کافی اسپور قارچ است، لذا با تهیه تعداد کافی پتری‌دیش محتوی محیط کشت پیچیده[1] (حاوی عناصر میکرو، ماکرو و نمک‌ها)، جدایه قارچ مذکور کشت داده شد و در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد درون انکوباتور به مدت چهار هفته نگهداری شد. پس از سپری شدن مدت زمان لازم جهت تولید اسپور، مقدار ۳۰-۲۰ میلی‌لیتر محلول آب-توئین ۲۰ درصد به هر پتری‌دیش افزوده شد و پس از جمع‌آوری اسپورهای قارچی موجود در هر پتری‌دیش، تعداد آنها با استفاده از لام نئوبار شمارش شد.

کشت گیاه و اعمال تیمارها

به منظور انجام این پژوهش، آزمایش گلخانه‌ای در گلدان‌های پنج کیلوگرمی با استفاده از خاک طبیعی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. برای جلوگیری از اثرات ناخواسته سایر میکروارگانیسم‌های موجود در خاک، خاک به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد در اتوکلاو استریل گردید. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح خشکی (ظرفیت زراعی[2] (F.C.)، ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و دو سطح تیمار قارچی (تلقیح و عدم تلقیح) بودند. ابتدا بذرهای جوانه‌دار شده جو واریته Golden promise با مقداری مایه تلقیح قارچ حاوی 5×10^5 میلی‌لیتر در لیتر اسپور تلقیح و به مدت چهار ساعت بر روی شیکر با دور آرام قرار داده شدند تا امکان اتصال اسپورهای قارچ به سطح ریشه‌چه فراهم شود، سپس نه گیاهچه تلقیح‌شده با قارچ در داخل هر گلدان کاشته شد. لازم به ذکر است که در مورد تیمارهای شاهد، بذرهای جوانه‌دار شده جو بدون تلقیح با اسپورهای قارچ در گلدان‌های حاوی بستر کشت کاشته شدند. گلدان‌ها پس از کشت، به گلخانه با طول دوره روشنایی ۱۶ ساعته و با بیشینه دمای روزانه ۲۲ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد، دمای شبانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰ درصد به مدت چهار هفته منتقل گردیده و با آب مقطر آبیاری شدند. پس از گذشت یک هفته از کاشت گیاهان، نمونه‌برداری از ریشه گیاهان تلقیح‌شده برای تعیین میزان آلودگی ریشه با قارچ (درصد کلونیزاسیون ریشه: نسبت ریشه‌هایی که در آنها اندام‌های قارچ مشاهده شده نسبت به ریشه‌هایی که در آنها اندام‌های قارچ مشاهده نشد. این نسبت برای گیاهان شاهد برابر با صفر بود.) صورت پذیرفت. برای اعمال تنش خشکی، ظرفیت زراعی خاک مورد نظر در آزمایشگاه خاکشناسی تعیین گردید که برابر با ۲۷/۵ درصد بود. بر این اساس و با توجه به وزن گلدان‌های خالی و خاک خشک (میزان آن در تمام گلدان‌ها ثابت بود)، وزن گلدان و میزان آب مورد نیاز برای هر یک از سطوح تنش مشخص شد. آب مورد نیاز برای رساندن خاک گلدان‌ها به سطوح F.C.، ۵۰F.C. درصد و ۲۵F.C. درصد به ترتیب ۷۸۰، ۳۹۰ و ۱۹۵ میلی‌لیتر و وزن گلدان‌ها به ترتیب ۳۷۰۰، ۳۳۱۰ و ۳۱۱۴ گرم بود. گلدان‌ها تا ۱۴ روز در حد ظرفیت زراعی نگه داشته شدند و اعمال تنش خشکی ۱۴ روز بعد از کاشت گیاهان انجام شد. تنش خشکی با قطع آبیاری و با توزین روزانه گلدان‌ها و تنظیم آنها در حد تنش مورد نظر اعمال شد. لازم به ذکر است که در شرایط کنترل (عدم اعمال تنش خشکی)، آبیاری گیاهان به صورت منظم انجام گرفت و رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی تنظیم شد. پس از گذشت چهار هفته از اعمال تنش و اندازه‌گیری صفاتی همچون ارتفاع اندام هوایی و محتوای نسبی آب، نمونه‌برداری از اندام‌های گیاهی (برگ و ریشه) انجام شد. پس از تعیین وزن تر نمونه‌های گیاهی برداشت‌شده، نمونه‌های مذکور به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن خشک آنها نیز محاسبه گردید. شکل ۱ مراحل رشد گیاهان را در گلخانه تحقیقاتی نشان می‌دهد.

1- Complex medium

2- Field capacity



شکل ۱- کشت گیاهان جو در گلخانه

Fig. 1- Sowing of seedlings in pot in greenhouse

به منظور مقایسه گیاهان شاهد و گیاهان تلقیح‌شده با قارچ *P. indica*، تجزیه آماری نتایج حاصل از اندازه‌گیری خصوصیاتی نظیر وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و محتوای نسبی آب گیاه با استفاده از نرم افزارهای Minitab، SPSS و SAS 9.1 به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز در سطح احتمال پنج درصد و بر اساس آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

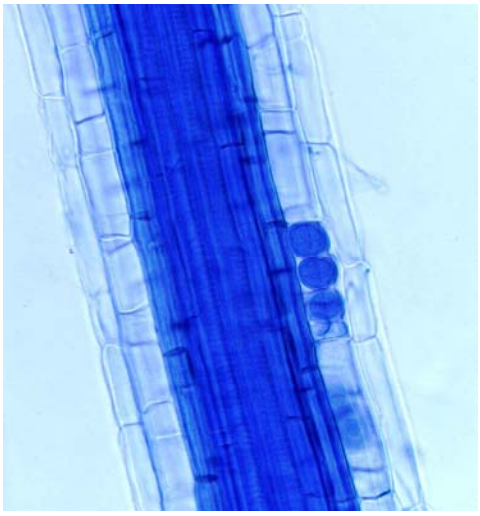
بررسی توان آلوده‌سازی ریشه توسط قارچ *P. indica*

نتایج مطالعات میکروسکوپی صورت گرفته بر روی ریشه گیاهان تلقیح‌شده با اسپورهای قارچ، حاکی از توان بالای این قارچ در آلوده نمودن ریشه گیاهان میزبان دارد، بطوری که به وضوح و بطور گسترده انبوهی از ریسه‌های برون ریشه‌ای حاصل از رشد اسپورهای قارچ در سطح خارجی و بخش کورتکس ریشه مشاهده می‌شود. همچنین اندامک‌های کروی قارچ نیز در داخل کورتکس ریشه مشاهده می‌شوند (شکل ۲). درصد کلونیزاسیون قارچ نیز بیش از ۹۰ درصد بود. این نتایج نشان داد که قارچ *P.indica* دارای توان بالایی در اشغال ناحیه کورتکس ریشه گیاه میزبان می‌باشد و جو نیز مانند بسیاری از گیاهان در محدوده میزبانی این قارچ قرار دارد که این مطالب با نتایج محققان دیگر همخوانی دارد. همچنین درصد کلونیزاسیون ریشه‌های گیاه جو (بالاتر از ۹۰ درصد) نشان می‌دهد که این گیاه میزبان خوبی برای قارچ می‌باشد. بالا بودن درصد کلونیزاسیون ریشه از دو نظر اهمیت دارد: نخست، حصول به حداکثر بهره‌وری از توان مفید سیستم‌های همزیستی علاوه بر وجود تعداد کافی از سویه‌های میکروبی فعال در ناحیه ریزوسفر، مستلزم افزایش میزان آلودگی ریشه گیاه توسط همزیست میکروبی است تا بتوان از بیشترین توان و ظرفیت آنها استفاده نمود و بازدهی سیستم را افزایش داد (Singh et al., 2000). در اینجا نیز برای استفاده از ظرفیت این قارچ در کشاورزی پایدار استقرار مناسب قارچ بر روی ریشه‌های گیاه اهمیت زیادی دارد، لذا مشاهده درصد بالای کلونیزاسیون ریشه‌های گیاه جو در این پژوهش، فاکتور بسیار مهم و با ارزشی محسوب می‌شود. دوم، میزان مناسب کلونیزاسیون برای بر هم کنش بین قارچ و گیاه دارای اهمیت است و در بروز اثرات مفید قارچ بر رشد گیاه دارای اهمیت می‌باشد.

مقایسه صفات گیاهان شاهد و تیمار تحت شرایط تنش خشکی

به منظور مقایسه صفات گیاهان شاهد و تیمار در سطوح مختلف خشکی، اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی (قارچ و خشکی) بر صفات مذکور مطالعه و بررسی گردید. با وجود اثرات ساده کاملا معنی‌دار قارچ و تنش بر روی صفات مذکور، اثرات متقابل تنها بر روی وزن خشک ریشه معنی‌دار بود که دلیل آن تفاوت قابل توجه اثر قارچ بر روی صفات مذکور در شرایط تنش نسبت به شرایط غیرتنش می‌باشد که در ادامه به بررسی و تفسیر آن پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که به دلیل استفاده از خاک طبیعی بجای استفاده از محیط هیدروپونیک نتایج حاصله را با اطمینان بیشتری می‌توان به شرایط

مزرعه نسبت داد.



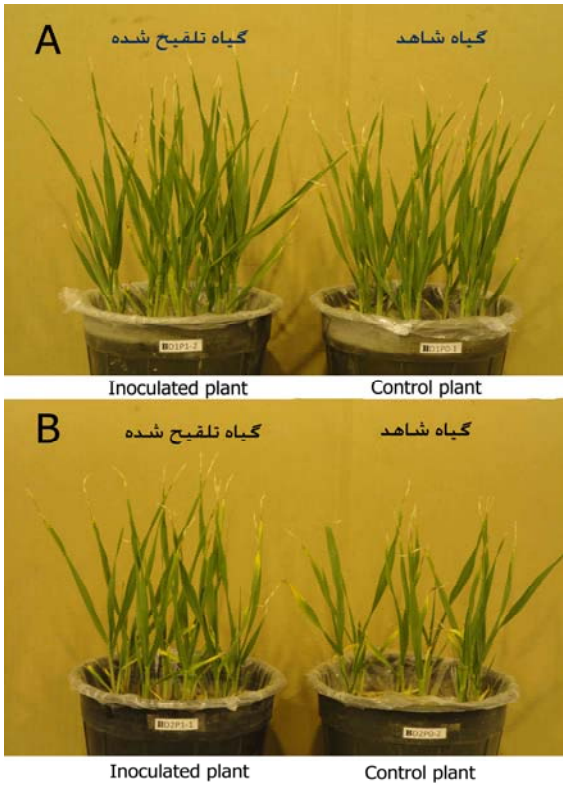
شکل ۲- اجسام کروی موجود در بافت کورتکس ریشه
Fig. 2- Spherical bodies in root cortex tissue

وزن خشک اندام هوایی

نتایج بدست آمده نشان داد که با کاهش رطوبت خاک و افزایش شدت تنش خشکی وزن خشک اندام هوایی گیاهان تیمار و شاهد کاهش می‌یابد. بیشترین تفاوت در تیمار خشکی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده می‌شود و کمترین تفاوت مربوط به تیمار بدون تنش (رطوبت در سطح ظرفیت مزرعه) است. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود اثر تنش خشکی و از طرفی تیمار با قارچ بر روی وزن خشک اندام هوایی کاملا مشهود است بطوری که با افزایش تنش و کاهش رطوبت، مقدار وزن خشک اندام هوایی در هر دو گروه تیمار (تلقیح‌شده با قارچ) و شاهد کاهش می‌یابد اما باید به دو نکته در این نمودار دقت نمود. اول اینکه در سه تیمار خشکی بین گیاهان شاهد و تیمار اختلاف وجود دارد و این اختلاف با افزایش تنش بیشتر مشهود است، بطوریکه در سطح F.C. ۲۵ درصد این اختلاف کاملا معنی‌دار است. دوم اینکه قارچ توانسته افت وزن خشک را در گیاهان شاهد کاهش دهد بطوریکه در گیاهان تیمار، ۳۱ درصد کاهش در وزن خشک مشاهده می‌شود در حالیکه در گیاهان شاهد ۵۵ درصد کاهش وزن خشک مشاهده گردید که این امر بیانگر تأثیر قارچ بر بهبود وزن خشک تحت شرایط تنش می‌باشد. شکل ۳ تفاوت رشد اندام هوایی را در گیاهان شاهد و تلقیح شده با قارچ در شرایط تنش نشان می‌دهد.

وزن خشک ریشه

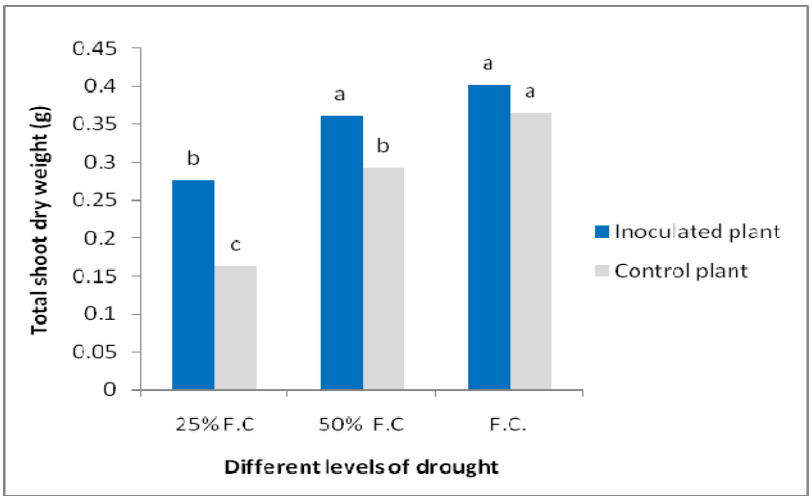
در مورد وزن خشک ریشه نیز نتایج مشابه با وزن خشک اندام هوایی می‌باشد و نتایج حاصله بیانگر روند کاهشی وزن خشک ریشه در اثر کاهش رطوبت خاک می باشد.



شکل ۳- تفاوت رشدگیاهان تلقیح‌شده نسبت به گیاهان شاهد، ۲۸ روز بعد از تلقیح (الف) F.C. (ظرفیت زراعی) ۵۰ درصد و (ب) تیمار F.C. ۲۵ درصد (سمت چپ) گیاه تلقیح شده با قارچ و سمت راست) گیاه شاهد)

Fig. 3- Differences in plant growth between inoculated plant and control plant, 28 days after inoculation (A) 50% field capacity (F.C.) and (B) 25% F.C. (left) inoculated plant and right) control plant)

همچنین نتایج نشان می‌دهد که اثر متقابل قارچ و خشکی نیز معنی‌دار است. شکل ۵ میزان این کاهش در گیاهان تیمار و شاهد و مقایسه بین آنها را نشان می‌دهد. در اینجا نیز تنش خشکی و کاهش میزان رطوبت خاک باعث کاهش وزن خشک ریشه می‌شود، بطوریکه کمترین مقدار این صفت در بالاترین سطح خشکی مشاهده می‌شود و این مسئله در مورد هر دو گروه گیاهان شاهد و تیمار صادق است. تفاوت این صفت بین گیاهان شاهد و تیمار در هر سه سطح خشکی کاملا مشهود و معنی‌دار است. همچنین نتایج نشان می‌دهد میزان کاهش این صفت در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ کمتر از گیاهان شاهد است، بطوریکه در گیاهان شاهد ۱۹٪ کاهش صفت بین تیمار بدون تنش و تیمار F.C. ۲۵٪ مشهود گردید، در حالیکه میزان این کاهش در گیاهان تلقیح‌شده حدود ۶ درصد بود.

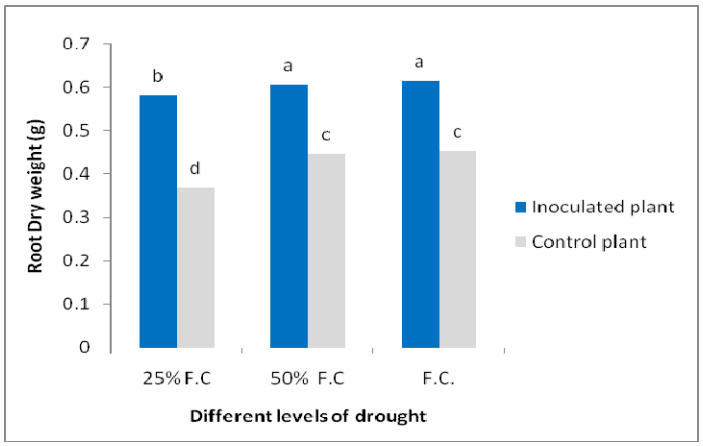


شکل ٤- مقایسه وزن خشک اندام هوایی گیاهان تیمار و شاهد تحت شرایط تنش خشکی

Fig. 4- Compare of total shoot dry weight in inoculated plant and control plant under drought stress.

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).



شکل ٥- مقایسه وزن خشک ریشه گیاهان تیمار و شاهد تحت شرایط تنش خشکی

Fig. 5- Compare of root dry weight in inoculated plant and control plant under drought stress

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).

این نتایج با نتایج مربوط به وزن خشک اندام هوایی به خوبی بیانگر این مطلب است که تلقیح با قارچ باعث بهبود عملکرد گیاه خصوصاً تحت شرایط تنش می‌گردد.

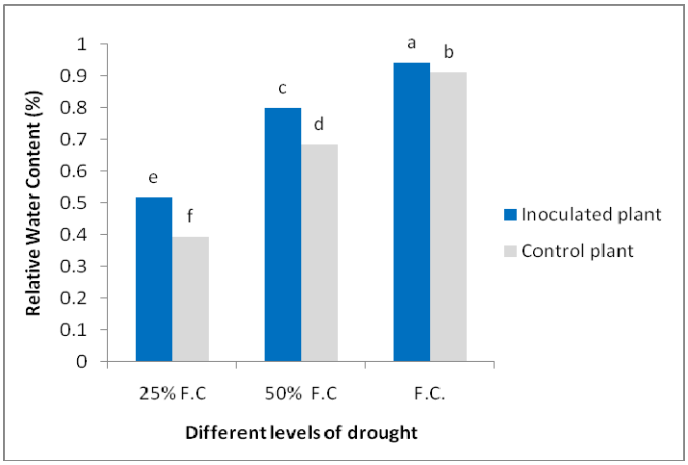
نتایج اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه بیانگر اهمیت ارتباط همزیستی قارچ *P. indica* با گیاه جو در تحریک رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد آن است. مقایسه وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان تلقیح‌شده با قارچ نسبت به گیاهان شاهد در شرایط بهینه از نظر خشکی (ظرفیت مزرعه) به خوبی تائید کننده اثر تحریک‌کنندگی رشد گیاه توسط قارچ است، بطوریکه حتی در شرایط بدون تنش هم افزایش صفات اندازه‌گیری‌شده مشهود بود. به نظر می‌رسد که میسیلیوم‌های قارچ با پراکنش در اطراف ریشه‌های گیاه میزبان سطح جذب آب بالاتری را فراهم آورده و باعث می شوند تا در شرایط یکسان گیاهان تلقیح‌شده نسبت به گیاهان شاهد آب بیشتری را در اختیار داشته باشند. از طرف دیگر، اگرچه در این پژوهش میزان جذب عناصر اندازه‌گیری نشد، اما با توجه به نتایج محققان دیگر به نظر می‌رسد که قارچ در فراهمی و متابولیسم عناصر مورد نیاز گیاه تأثیر مهمی داشته و سبب می‌گردد تا میزان این عناصر در گیاهان تلقیح‌شده افزایش یابد. این امر خصوصاً در شرایط تنش

برای گیاهان دارای اهمیت زیادی است. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که قارچ *P. indica* بر متابولیسم فسفر، گوگرد و ازت تأثیر مستقیم داشته و همچنین فراهمی فسفر موجود در خاک را افزایش می‌دهد (Malla et al., 2004; Oelmuller et al., 2009).

علاوه بر توان تحریک‌کنندگی رشد گیاه جو توسط قارچ *P. indica*، نتایج حاصل از این تحقیق به خوبی بر نقش موثر این قارچ در بهبود رشد و عملکرد گیاه تحت شرایط تنش خشکی دلالت دارد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که تلقیح ریشه گیاه جو با قارچ *P. indica* سبب افزایش مقدار وزن خشک اندام هوایی و ریشه به ترتیب به میزان ۳۹ و ۴۶ درصد نسبت به شرایط بدون تلقیح گردید.

مقایسه محتوای نسبی آب گیاه در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ نسبت به گیاه شاهد

نتایج اندازه‌گیری محتوای نسبی آب گیاهان بیانگر آن است که با افزایش خشکی، محتوای نسبی آب برگ گیاهان تلقیح‌شده و شاهد کاهش می‌یابد، به طوریکه با اعمال خشکی به میزان ۵۰٪ F.C. مقدار کاهش صفت مذکور در گیاهان شاهد و تلقیح‌شده نسبت به شرایط رطوبت زراعی به ترتیب ۲۴ و ۱۵ درصد کاهش می‌یابد، در حالیکه محتوای نسبی آب برگ گیاهان شاهد و تلقیح شده در سطح شدیدتر تنش خشکی (۲۵F.C. درصد) نسبت به شرایط رطوبت ظرفیت مزرعه به ترتیب ۵۷ و ۴۴ درصد کاهش یافته است. بطور کلی با مقایسه گیاهان شاهد و تلقیح شده در شرایط رطوبت مزرعه و نیز در سطوح خشکی اعمال شده، این نتیجه به دست می‌آید که محتوای نسبی آب برگ گیاهان تلقیح شده بیشتر از گیاهان شاهد است و مقایسه رشد گیاهان بعد از اعمال تنش نشان می‌دهد که در یک هفته بعد از اعمال تنش شدید، رشد گیاهان شاهد متوقف شد، اما در گیاهان تلقیح شده رشد با سرعت کم اتفاق افتاد بطوریکه با گذشت زمان تفاوت رشدی بین گیاهان شاهد و تیمار مشهودتر گردید. همانطور که گفته شد، به نظر می‌رسد که یکی از مهمترین دلایل این مسئله امکان جذب بیشتر آب در شرایط تنش است، بطوریکه در اینجا نیز میسیلیوم‌های قارچ با پراکنش بیشتر در اطراف ریشه‌ها سطح جذب بالاتری را ایجاد نموده و لذا گیاه را قادر می‌سازند تا آب بیشتری را جذب نماید. مقایسه محتوای نسبی آب گیاهان به خوبی نشان می‌دهد که گیاهان تلقیح‌شده در شرایط تنش آب بیشتری (۲۳ درصد بیشتر از گیاهان شاهد) در اختیار دارند. این نتایج با نتایج مطالعه‌ای مشابه بر روی تأثیر قارچ بر مقاومت گیاه جو در شرایط تنش شوری مطابقت دارد (Sepehri et al., 2009). از طرف دیگر، به نظر می‌رسد که قارچ بر روی پیام‌رسانی گیاه تأثیر گذاشته و سبب تجمع بیشتر آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاه شده که این امر به نوبه خود مقاومت گیاه را افزایش می‌دهد. نکته قابل توجه در نتایج بدست آمده از این تحقیق تأثیر قارچ بر روی خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه جو در شرایط تنش ۲۵ F.C. درصد است. بطوریکه مقایسه نتایج نشان می‌دهد که با کاهش رطوبت خاک، قارچ تأثیر بهتری بر روی گیاهان تلقیح‌شده دارد. به نظر می‌رسد که با توجه به محل طبیعی حضور این قارچ، که در مناطق بیابانی و خشک است، بتوان نتایج را اینطور تفسیر نمود که قارچ نسبت به شرایط خشک و نامساعد تکامل پیدا کرده است و لذا در شرایطی که گیاه با تنش روبرو شود این قارچ بهتر می‌تواند تأثیرات خود را بر روی رشد گیاه اعمال نماید (Sepehri et al., 2009).



شکل ٦- مقایسه محتوای نسبی آب گیاهان شاهد و تیمار در شرایط تنش خشکی

Fig. 6- Compare of RWC in inoculated plant and control plant under drought stress

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده در سطوح مختلف خشکی و قارچ

Table 1- Variance analysis (mean of squares) of measured physiological traits at different levels of drought and fungus

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن کل اندام هوایی Total shoot weight	وزن خشک اندام هوایی Total shoot dry weight	ارتفاع Height	محتوای نسبی آب RWC
خشکی Drought	2	0.008580**	7.7067**	0.055673**	9553.624**	0.33595**
قارچ Fungus	1	0.190104**	0.9700	0.031755**	756.004**	0.03689**
خشکی× قارچ Drought × Fungus	2	0.001838**	0.0764	0.003002	46.186	0.004062*
خطا Error	18	0.000267	0.2257	0.002068	46.91	0.000194

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and ** are significance at 5 and 1% probability levels, respectively.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش و سایر پژوهش‌ها بیانگر امکان استفاده از این قارچ در مناطق خشک و نیمه خشک بوده که مطالعات بیشتر در این زمینه می‌تواند امکان استفاده عملی و گسترده آن را فراهم نماید. همچنین با توجه به اینکه جدایه مورد استفاده در این تحقیق و سایر تحقیقات منتشر شده بومی هندوستان بوده و هنوز جدایه‌ای از این قارچ در ایران شناسایی نشده است، امید است با شناسایی و جمع‌آوری جدایه‌های بومی قارچ *P. indica* به منظور غنی‌تر نمودن بانک میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی ایران و نیز بهره‌گیری از این قارچ در تولید کود بیولوژیک جهت مصرف در مناطق شور، خشک و نیمه‌خشک کشور بتوان از پتانسیل‌های بالقوه قارچ مذکور در زمینه کشاورزی پایدار استفاده نمود. همچنین با تشخیص ژن‌ها، پروتئین‌ها و مکانیسم‌های فیزیولوژیک دخیل در تحمل تنش‌های محیطی توسط قارچ مذکور گامی موثر در جهت اصلاح ژنتیکی گیاهان برای مقاومت به تنش‌های شوری و خشکی برداشت. در این زمینه نویسندگان این مقاله در حال بررسی تغییرات ژن‌ها در شرایط تنش بعد از تلقیح با قارچ با راهکار پروتئومیکس بوده که نتایج آن در آینده انتشار خواهد یافت.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از زحمات و تلاش‌های مدیریت و اعضای پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی منطقه مرکزی کشور- اصفهان تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

1- Bohnert, H.J., and Jensen, R.G. 1996. Strategies for engineering water stress tolerance in plants. Trends in Biotechnology 14: 89- 97.

2- Cruz, V. 1990. Tolerancia a la salinidady criterios de selection en lycopersicon mill. PhD Thesis, Universidad de Malaga (Spain) 484 pp.

3- Emami, A. 1996. Analytical methods for plant analysis. Soil and water research institute, Research department, agricultural education and development, Iran. Technical Report 1(982): 147-53. (In Persian)

4- Krich, H. H., Vera, R., Strella, R., Golldack, D., Quigley, F., Michalowski, C.B., Barkla B.J., and Bohnert, H.J. 2000. Expression of water channel proteins in *Mesembryanthemum crystallinum*. Plant Physiology 123: 111-124.

5- Kumari, R., Kishan, H., Bhoon Y.K., and Varma, A. 2003. Colonization of Cruciferous plants by *Piriformospora indica*. Current Science 85: 1672-1674.

6- Malla, R., Prasad, R., Kumari, R., Giang, Ph., Pokharel, U., Olmuller R., and Vama, A. 2004. Phosphorus solubilizing symbiotic fungus: *Piriformospora indica*. Endocytobiosis Cell Research 15(2): 579-600.

7- Oelmuller, R., Sherameti, I., Tripathi S., and Varma, A. 2009. *Piriformospora indica*, a cultivable root endophyte with multiple biotechnological applications. Symbiosis 49: 1-12.

8- Paul, E. A., and Clark, F.E. 1989. Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, London 275 pp.

9- Rai, M., Achaya,D., Singh A., and Varma, A. 2001. Positive growth responses of the medicinal plants *Spilanthes calva* and *Withania somnifera* to inoculation by *Piriformospora indica* in a field trial. Mycorrhiza 11: 123-128.

10- Rai, M., and Varma, A. 2005. Arbuscular mycorrhiza-like biotechnological potential of *Piriformospora indica*, which promotes the growth of *Adhatoda vasica*. Electronic Journal of Biotechnology 8: 107-111.
11- Sepehri, M., Saleh Rastin, N., Hosseini Salekdeh, G., and Khayam Nekoe, M. 2009. Effect of endophytic fungus, *Piriformospora indica*, on growth and resistance of *Hordeum vulgare* L. to salinity stress. Journal of Rangeland 3(3): 508-518.
12- Shannon, M.C., and Noble, C.L. 1990. Genetic approaches for developing economics salt-tolerant crops. In: Tanji K.K. (Ed.) Agricultural salinity assessment and management, vol. 71. New York: ASCE. 161-184.
13- Sherameti, I., Shahollari, B., Venus, Y., Altschmied, L., Varma A., and Olmuller, R. 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* stimulate the expression of nitrate reductase and the starch-degrading enzyme glucan-water dikinase in tobacco and Arabidopsis roots through a homeodomain transcription factor which binds to a conserved motif in their promoters. Journal of Biological Chemistry 280: 2641-2647.
14- Singh, A., Sharma, J., Rexer K.H., and Varma, A. 2000. Plant productivity determinants beyond Minerals, water and light. *Piriformospora indica*: a revolutionary plant growth promoting fungus. Current Science 79: 101-106.
15- Sminorff, N. 1993. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. New Phytologist 125: 27-58.
16- Waller, F., Achatz B., and Baltruschat, H. 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms Barley to salt-stress tolerance, disease resistance and higher yield. PNAS 102: 13386-13391.
17- Varma, A., Abbott, L., Werner D., and Hampp, R. 2004. Plant Surface microbiology. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 238-265.
18- Varma, A., Sativa, S., Sahay, N., Butehorn B., and Franken, P. 1998. *Piriformospora indica*, a cultivable plant-growth-promoting root endophyte. Applied and Environmental Microbiology 65: 2741-2744.
19- Verma, S., Varma, A., Rexer, K.H., Kost, G., Sarbhoy, A., Bisen, P., Butehorn, B., and Franken, P. 1998. *Piriformospora indica* gen. et sp. Nov., A new root-colonizing fungus. Mycologia 95: 896-903.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، ص. ۳۴۶-۳۳۷

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 337-346

بررسی اثر کودهای بیولوژیک بر گره‌زایی و رشد سویا (*Glycine max* L.) تحت تنش کم آبی بذر

معصومه تاجیک خاوه[1*]، ایرج الهدادی[2]، جهانفر دانشیان[3] و امید آرمند پیشه[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۳

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک بر قدرت رویش بذرها حاصل از تنش کم‌آبی سویا (*Glycine max* L.) و ویژگی‌های مرتبط، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران در سال ۱۳۸۶ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل کود بیولوژیک (تلقیح بذرها با *Bradyrhizobium japonicum*، تلقیح توأم با *B. japonicum* و *Pseudomonas fluorescens* و تلقیح توأم با *B. japonicum* و *Glomus mosseae*)، رقم (ZaltaZalha و لاین Clark×Hobbit) و تنش کم آبی [آبیاری پس از ۵۰ (آبیاری مطلوب)، ۱۰۰ (تنش متوسط) و ۱۵۰ (تنش شدید) میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A در مزرعه گیاه مادری] بودند. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی تأثیر منفی برکیفیت بذر داشت و موجب کاهش قابلیت ظهور گیاهچه، متوسط ظهور گیاهچه روزانه، وزن خشک ساقه، برگ و ریشه و تعداد گره شد. در مقایسه ارقام، رقم زالتزالها با وزن خشک ساقه و تعداد برگ بیشتر، رقم برتر بود. کاربرد کود بیولوژیک بر قطر ساقه، وزن خشک ساقه، برگ و ریشه و تعداد برگ و گره مؤثر بود و تلقیح توأم بذرها با *برادی‌ریزوبیوم* و *گلوموس* موجب افزایش صفات مذکور شد. همچنین کاربرد کود بیولوژیک در سطوح مختلف تنش کم‌آبی بر وزن خشک ساقه ارقام مؤثر بود و تلقیح توأم بذرها ارقام با *برادی‌ریزوبیوم* و *گلوموس* موجب افزایش وزن خشک ساقه شد.

واژه‌های کلیدی: قابلیت ظهور گیاهچه، کیفیت بذر، *گلوموس موسه*

مقدمه

سویا (*Glycine max* L.) یکی از مهمترین دانه‌های روغنی در جهان و ایران می‌باشد. در حال حاضر کشور بیش از ۸۰ درصد نیاز به روغن را از خارج تامین می‌نماید و دستیابی به خود کفائی در تامین روغن مورد نیاز کشور از اهداف مهم توسعه کشاورزی ایران می‌باشد. سطح زیر کشت سویا در ایران در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ حدود ۸۲ هزار هکتار برآورد شد که متعلق به استان‌های آذربایجان شرقی، اردبیل، گلستان، گیلان، لرستان، مازندران و همدان می‌باشد که حدود ۶۸/۸۳ درصد آن آبی و ۳۱/۱۷ درصد نیز به صورت دیم بوده است. میزان تولید سویای کشور حدود ۱۹۸ هزار تنش برآورد شده که ۷۴/۷۹ درصد آن از کشت آبی و ۲۵/۲۱ درصد مابقی از کشت دیم بدست آمده است. راندمان تولید در هکتار سویای آبی کشور ۲۶۱۵ کیلوگرم و عملکرد دیم ۱۹۴۷ کیلوگرم بوده است (Anonymous, 2005). وقوع تنش کم آبی در طول رشد گیاه، مخصوصا در مراحل زایشی در درجه اول از عملکرد گیاه و نهایتا قوه نامیه بذرهای حاصل می‌کاهد. دورنباس و همکاران (Dorenbos et al., 1989) گزارش کردند که بین وزن بذر با جوانه‌زنی و بنیه بذر ارتباطی وجود دارد، بطوریکه با کاهش وزن بذر در اثر تنش، بنیه بذر کاهش می‌یابد. کیفیّت و کمیّت بذر به عوامل متعددی مانند خاک، اقلیم و اجرای عملیات زراعی در دوره رشد و نمو گیاه مادری از کاشت تا برداشت بستگی دارد. در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که کشور ما را نیز در بر می‌گیرد، تنش خشکی یکی از عوامل اصلی کاهش کیفیت و کمیت بذر گیاهان می‌باشد. در آزمایشی مشخص گردید تنش خشکی در مرحله نمو بذر سویا موجب کاهش بنیه بذر شد (Stankova & Stankov, 2001). بنابراین استفاده از راهبردهایی برای کاهش اثر منفی تنش خشکی بر کیفیت بذر از اهمیت خاصی برخوردار است. خاک یک سیستم پیچیده است که توسط موجودات کوچک مختلف

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، دانشیار موسسهٔ اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (E-mail: tajik@ut.ac.ir

شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها، اکتینومایست‌ها کلونیزه شده است. خاک جایی است که میکروارگانیسم‌ها در حضور ریشه‌های گیاه که ریزوسفر نامیده می‌شود وجود دارند. باکتری‌ها (که نوع غالب میکروارگانیسم‌های خاک می‌باشند) و در ریزوسفر رشد می‌کنند ریزوباکتری‌ها نامیده می‌شوند و باکتری‌های ریزوسفری که سبب بعضی مکانیسم‌های مستقیم یا قابلیت القای رشد گیاه هستند به عنوان باکتری‌های ریزوسفری افزاینده رشد گیاه نامیده می‌شوند (Kloepper et al., 1989). آنهایی که باعث افزایش رشد گیاه از طریق غیرمستقیم می‌شود به عنوان کنترل زیستی باکتری‌های افزاینده رشد گیاه نامیده می‌شوند. تحریک مستقیم گیاه وقتی انجام می‌شود که باکتری‌های افزاینده رشد گیاه ترکیباتی فراهم کند که بر متابولیسم گیاه یا وقتی آنها تسهیل می‌کنند دستیابی گیاه به عناصر غذایی غیرقابل دسترس از خاک. در باکتری‌های افزاینده رشد مهمترین اثر فرآیندهای تحریک کنندگی رشد گیاه در کنار تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های گیاهی یا ترکیبات تنظیم کننده رشد گیاه می‌باشد. مثال‌ها شامل تولید ایندول ۳-استیک اسید توسط *ازتوباکتر دی‌آزوتروفوس* و *هرباسپیریلیوم سرویدیاسه*: زه‌آتین و اتیلن توسط سویه‌های *آزوسپیریلوم*: اسید جیبرلیک توسط *آزوسپیریلوم لیپوفروم* سویه op33: و اسید آبسیزیک توسط *آزوسپیریلوم برازیلنس* سویه‌های cal و AZ39 (Perig et al., 2005). در شرایط کم آبی با توجه به اینکه گیاه میزان مواد پرورده کمتری را کسب می‌کند در نتیجه اندوخته کمتری در اختیار بذرها قرار گرفته و همچنین در صورتی که کم‌آبی در زمان پر شدن دانه‌ها باشد *تأثیر* منفی بر قوه نامیه و بنیه بذر خواهد گذاشت. از طرفی با توجه به توانایی‌هایی که هر کدام از باکتری و قارچ دارند، لذا بررسی اثر آنها به صورت جداگانه و ترکیبی و همچنین اثر افزایشی آنها جائز اهمیت است. حال نوآوری در این بررسی بدین صورت در نظر گرفته شد که آیا باکتری و قارچ می‌توانند قوه نامیه و بنیه بذر کاهش یافته را ارتقاء دهند یا خیر و همچنین چه تأثیری بر میزان گره‌های ریشه که تثبیت کننده نیتروژن هستند دارد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثرات تلقیح باکتری‌های *برادی‌ریزوبیوم ژاپونیکوم*، *سودوموناس فلورسنس* و قارچ *گلوموس موسه* بر خصوصیات کیفی بذرهای حاصل از تنش کم‌آبی یک رقم و یک لاین سویا در شرایط کنترل شده، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در گلخانه پردیس ابوریحان دانشگاه تهران در سال ۱۳۸۶ انجام شد. بدین منظور از بذرهای به دست آمده از گیاهانی که تحت تأثیر سه سطح تنش کم‌آبی قرار گرفته بودند استفاده شد. بنابراین، تیمارها عبارت از فاکتور کود بیولوژیک در سه سطح شامل تلقیح بذرها با باکتری *برادی‌ریزوبیوم ژاپونیکوم*، تلقیح توأم بذرها با باکتری‌های *برادی‌ریزوبیوم ژاپونیکوم* و *سودوموناس فلورسنس* و تلقیح توأم بذرها با باکتری *برادی‌ریزوبیوم ژاپونیکوم* و قارچ *گلوموس موسه*، تیمار رقم شامل رقم زالتزالها و لاین Clark×Hobbit و عامل تنش کم‌آبی ایجاد شده در گیاه مادری در سه سطح شامل آبیاری پس از ۵۰ (آبیاری مطلوب)، ۱۰۰ (تنش متوسط) و ۱۵۰ (تنش شدید) میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A بودند. برای اجرای این آزمون، تعداد ۱۲ بذر به صورت تصادفی از هر یک از سطوح تنش کم آبی انتخاب شد و پس از تلقیح با کودهای بیولوژیک، در گلدان‌های چهار کیلوگرم که حاوی ماسه شسته شده بود کشت گردید. جهت رفع کمبود عناصر غذایی گلدان‌ها، از محلول غذایی بدون نیتروژن استفاده گردید (Beck et al., 1993). برای تهیه ۲۰ لیتر از محلول غذایی بدون نیتروژن، ۱۰ میلی‌لیتر از هر استوک را به ۱۰ لیتر آب مقطر افزوده و پس از به‌هم زدن، ۱۰ لیتر آب مقطر دیگر به آن اضافه شد و توسط NaOH یک نرمال، pH محلول بین ۶/۸-۶/۶ تنظیم گردید. فرمول تهیه این محلول غذایی در جدول ۱ آمده است. هر گلدان به صورت یک روز در میان با ۲۰۰ میلی‌لیتر از این محلول غذایی آبیاری شد.

جدول ۱- ترکیبات غذایی بدون نیتروژن

Table 1- Nutrient component of free Nitrogen

نوع محلول Stock type	ترکیب Component	مقدار (گرم بر لیتر) Amount ($g.l^{-1}$)
1	کلرید کلسیم دو آب $CaCl_2. 2H_2o$	294.1
2	فسفات پتاسیم KH_2PO_4	136.1
3	سولفات منیزیم هفت آب $MgSO_4. 7H_2o$	123.3
	سولفات پتاسیم K_2SO_4	87.0
	سولفات منگنز $MnSO_4. H_2O$	0.338
4	بورات H_3BO_3	0.247
	سولفات روی هفت آب $ZnSO_4. 7H_2O$	0.288
	سولفات مس پنج آب $CuSO_4. 5H_2O$	0.100
	مولیبدات سدیم دو آب $NaMoO_2. 2H_2O$	0.048
	سولفات کبالت هفت آب $CoSO_4. 7H_2O$	0.056
5	سیترات آهن $Fe\ Citrate^+$	5.4

به منظور تعیین قابلیت ظهور گیاهچه و ویژگی‌های مرتبط، تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده در سطح خاک تا ۱۴ روز پس از کاشت یادداشت‌برداری شد و داده‌های حاصل برای محاسبه شاخص‌های زیر مورد استفاده قرار گرفتند. شاخص ظهور گیاهچه در مزرعه[1] (FEI) با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Ram et al., 1989).

معادله (۱)
$$FEI = \frac{F}{P} \times 100$$

که در این معادله، F: ظهور نهایی گیاهچه در مزرعه و P: قوه نامیه بذر[2] (به صورت درصد) می‌باشد. همچنین، سرعت ظهور گیاهچه‌ها در مزرعه[3] (گیاهچه در روز) با در نظر گرفتن تاریخ نخستین آبیاری به عنوان تاریخ کاشت و با استفاده از رابطه زیر تعیین گردید:

معادله (۲)
$$FER = \frac{FFE}{D}$$

که در این معادله، FFE: ظهور نهایی گیاهچه (درصد) و D: تعداد روز از کاشت تا پایان یادداشت برداری می‌باشد. پس از گذشت ۶۵ روز از زمان کاشت، جهت بررسی تشکیل گره روی ریشه‌ها گلدان‌ها تخلیه شدند و ریشه‌ها مورد شستشو قرار گرفتند و تعداد گره‌ها شمارش شد. همچنین شاخص‌هایی نظیر تعداد برگ و قطر ساقه (در ناحیه بین گره اول و دوم با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۵ میلی‌متر) و وزن خشک ریشه، ساقه و برگ (پس از خشک کردن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) با استفاده از ترازوی دقیق بر حسب گرم اندازه‌گیری شدند. در پایان، داده‌های حاصل توسط برنامه نرم‌افزاری SAS (ver 11.0) مورد تجزیه آماری قرار گرفتند و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که اثر تنش کم‌آبی بر قابلیت ظهور گیاهچه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود (جدول ۲) و با افزایش شدت تنش، از قابلیت ظهور گیاهچه کاسته شد (جدول ۳). در آزمایشی تأثیر تنش خشکی در مرحله پرشدن بذرها سویا بر درصد ظهور گیاهچه مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که تنش باعث کاهش ظهور گیاهچه شد (Wasule et al., 2002). هادی و همکاران (Hadi et al., 2009) در بررسی که روی بذر سویا تحت تنش خشکی و تلقیح شده با باکتری *برادی ریزوبیوم ژاپونیکوم* و *ازتوباکتر کروکوکوم* انجام دادند نتیجه گرفتند که تنش خشکی باعث کاهش سرعت و عدم یکنواختی جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه گردید و همچنین باکتری تاثیری بر ظهور گیاهچه نداشت، ولی پس از رویش وزن خشک برگ و ساقه، سطح برگ و شاخص بنیه گیاهچه را نسبت به عدم تلقیح افزایش داد.

اثر تنش بر متوسط ظهور گیاهچه روزانه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود (جدول ۲) و با افزایش شدت تنش از متوسط ظهور گیاهچه روزانه کاسته شد (جدول ۳). بذرها سویای تولید شده در شرایط تنش خشکی دارای کیفیت پایین‌تری هستند. درنتیجه این بذرها دیرتر اقدام به جوانه‌زنی کرده و در این شرایط، سرعت ظهور گیاهچه روزانه کاهش می‌یابد (FAS, 2005). هادی و همکاران (Hadi et al., 2009) در بررسی که روی بذر سویا تحت تنش خشکی و تلقیح شده با باکتری *برادی ریزوبیوم ژاپونیکوم* و *ازتوباکتر کروکوکوم* انجام دادند نتیجه گرفتند که تنش خشکی باعث کاهش سرعت و عدم یکنواختی جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه گردید و همچنین باکتری تاثیری بر ظهور گیاهچه نداشت، ولی پس از رویش وزن خشک برگ و ساقه، سطح برگ و شاخص بنیه گیاهچه را نسبت به عدم تلقیح افزایش داد.

اثر کود بیولوژیک بر قطر ساقه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود (جدول ۲)، به طوری که تلقیح توأم بذرها با *برادی‌ریزوبیوم* و *گلوموس* قطر ساقه را افزایش داد (جدول ۳). در آزمایشی، تلقیح سویا با قارچ میکوریزای آربواسکولار (*Glomus fasciculatum*) موجب افزایش قطر ساقه گردید (Khan, 2006). اثر تنش و رقم بر قطر ساقه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش و رقم بر قطر ساقه نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب و تنش شدید، ارقام از نظر این صفت با هم تفاوتی نداشتند در صورتی که در شرایط تنش متوسط، رقم زالتزالها دارای قطر ساقه بیشتری بود (جدول ۴).

اثر تنش، رقم و کود بیولوژیک بر وزن خشک ساقه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود (جدول ۲). در این خصوص، با افزایش شدت تنش از وزن خشک ساقه کاسته شد (جدول ۳). محققین طی آزمایشی روی سویا، نتیجه گرفتند که میزان کلسیم در بذرهای حاصل از آبیاری مطلوب سه برابر میزان کلسیم در بذرهایی است که تحت تنش خشکی بودند (Stankova & Stankov, 2001) و با استناد به گزارشات موجود مبنی بر نقش مهم کلسیم در سنتز دیواره‌های جدید و نمو سلول‌های تقسیم شده (Thiagarajan & Ahmad, 1993)، می‌توان علت کاهش وزن خشک ساقه رشد یافته از بذرها حاصل از تنش کم آبی را همین مسئله دانست. در مقایسه ارقام نیز، رقم زالتزالها دارای وزن خشک ساقه بیشتری بود، همچنین تلقیح توأم بذرها با *برادی‌ریزوبیوم* و *گلوموس* موجب افزایش وزن خشک ساقه شد و کمترین وزن خشک ساقه از کاربرد *برادی‌ریزوبیوم* به تنهایی حاصل شد (جدول ۴). در آزمایشی اثر باکتری *برادی‌ریزوبیوم* و کاربرد قارچ میکوریزا وزیکولار آربواسکولار روی سویا مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که قارچ میکوریزا به طور بسیار معنی‌داری موجب افزایش وزن خشک ساقه شد (Aliasgharzad et al., 2006). اثر

1- Field emergence index
2- Seed viability
3- Field emergence rate

متقابل تنش و کود بیولوژیک بر وزن خشک ساقه معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش و کود بیولوژیک بر وزن خشک ساقه نشان داد که در سطوح مختلف تنش کم‌آبی، تلقیح توأم بذرها با *برادی‌ریزوبیوم* و *گلوموس* موجب افزایش وزن خشک ساقه شد (جدول ۴). اثر متقابل رقم و کود بر وزن خشک ساقه معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و کود بر این صفت نشان داد که تلقیح توأم بذرها ارقام با *برادی-ریزوبیوم* و *گلوموس* موجب افزایش وزن خشک ساقه گردید (جدول ۴). محققین گزارش کردند تلقیح بذرهای تاجریزی (*Solanum nigrum* L.) با قارچ میکوریزای آرباسکولار (*Glomus aggregatum*، *G. mosseae* و *G. versiforme*) به طور بسیار معنی‌داری وزن خشک ساقه را افزایش داد (Dorenbos et al., 1989). اثر متقابل سه‌گانه تنش، رقم و کود بیولوژیک بر وزن خشک ساقه معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود (جدول ۲)، به طوری که در سطوح مختلف تنش کم‌آبی، تلقیح توأم بذرها ارقام با *برادی‌ریزوبیوم* و *گلوموس* موجب افزایش وزن خشک ساقه شد (جدول ۵). محققین نیز گزارش کردند که تلقیح سویا با قارچ میکوریزای آرباسکولار، وزن خشک ساقه را افزایش داد (Khan, 2006).

اثر رقم و کود بیولوژیک بر تعداد برگ بسیار معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود (جدول ۲)، به طوری که رقم زالتزالها برگ بیشتری تولید نمود و تلقیح توأم بذرها با *برادی‌ریزوبیوم* و *گلوموس* موجب افزایش تعداد برگ شد (جدول ۳). در آزمایشی اثر همزیستی قارچ میکوریزای وزیکولار آرباسکولار بر رشد گیاه بروموس مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که تلقیح گیاه *بروموس* با قارچ میکوریزا، تعداد برگ در هر گیاه را افزایش داد (Diop et al., 2003).

اثر تنش کم آبی و کود بیولوژیک بر وزن خشک برگ بسیار معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود (جدول ۲)، به طوری که با افزایش شدت تنش از وزن خشک برگ کاسته شد (جدول ۳). کاهش وزن خشک برگ به موازات تنش کم‌آبی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز در گیاه مادری به واسطه کمبود رطوبت خاک و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به بذرهای در حال رشد و نهایتاً عدم دستیابی به ذخایر کافی بذرها نسبت داد. تلقیح توأم بذرها با *برادی‌ریزوبیوم* و *گلوموس* صفت مذکور را افزایش داد (جدول ۳) که در آزمایشی علت این امر، تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه توسط قارچ میکوریزای آرباسکولار بیان شد (Allen, 2003). همچنین محققین دیگری افزایش فتوسنتز گیاهان میکوریزایی به انواع غیرمیکوریزایی را علت این عامل دانستند (Antunes, 2004).

اثر تنش بر وزن خشک ریشه معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود (جدول ۲)، به طوری که با افزایش شدت تنش از وزن خشک ریشه کاسته شد (جدول ۲). اثر کود بیولوژیک بر وزن خشک ریشه معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود (جدول ۲) و بیشترین وزن خشک ریشه از تلقیح توأم بذرها با *برادی‌ریزوبیوم* و *گلوموس* و کمترین آن از کاربرد *برادی‌ریزوبیوم* به تنهایی حاصل شد (جدول ۳) که این نتایج با نتایج گروهی از محققین مطابقت داشت (Diar kianmehr et al., 2000; Diop et al., 2003; Khan, 2006). هادی و همکاران (Hadi et al., 2009) گزارش کردند در سطوح مختلف آبیاری، تیمارهای تلقیح با باکتری از ارتفاع، وزن خشک برگ، ساقه، گیاهچه و بنیه بیشتری نسبت به عدم تلقیح برخوردار بودند. تلقیح بذرهای حاصل از شرایط تنش شدید با *برادی ریزوبیوم ژاپونیکوم* وزن خشک ریشه‌چه را نسبت عدم تلقیح افزایش داد. بنابراین کاربرد باکتری باعث افزایش بنیه گیاهچه بذرهای حاصل از شرایط آبیاری محدود گردید. بنابراین با توجه به نتیجه این آزمایش و بررسی‌های انجام شده مشخص می‌شود که حضور توأم باکتری *برادی‌ریزوبیوم‌ژاپونیکوم* به همراه یک باکتری یا قارچ دیگر اثر افزایشی داشته و با توجه به شرایطی که برای گیاه فراهم می‌کنند که در نهایت باعث افزایش وزن خشک ریشه می‌شود.

اثر تنش و کود بیولوژیک بر تعداد گره معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود (جدول ۲). در شرایط تنش شدید، تعداد گره کاهش یافت و کمترین تعداد گره از کاربرد *برادی‌ریزوبیوم* به تنهایی حاصل شد در صورتی که تلقیح توأم بذرها با *برادی‌ریزوبیوم* به همراه *سودوموناس* یا *گلوموس*، تعداد گره را افزایش داد (جدول ۳). در آزمایشی روی سویا، اثرات متقابل بین باکتری همزیست *برادی‌ریزوبیوم* و باکتری *سودوموناس پوتیدا* مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که تلقیح توأم بذرها با باکتری‌های مذکور به طور معنی‌داری گره‌زایی ریشه را افزایش داد (Saha et al., 1990). همچنین در آزمایشی همزیستی سه گانه سویا، *برادی‌ریزوبیوم ژاپونیکوم* و قارچ میکوریزی آرباسکولار مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که همزیستی سه جانبه منجر به افزایش گره‌زایی شد (Asadi Rahmani, 1999). محققین علت این امر را در گیاهان میکوریزایی، افزایش جذب فسفر توسط گیاه دانستند (Albrecht et al., 1999). اثر متقابل تنش و رقم بر تعداد گره معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش و رقم بر این صفت نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب، ارقام از نظر این صفت با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند، ولی در شرایط تنش متوسط، لاین Clark×Hobbit و در شرایط تنش شدید، رقم زالتزالها تعداد گره بیشتری داشت (جدول ۴). اثر متقابل تنش و کود بر تعداد گره بسیار معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش و کود نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب و تنش متوسط، تلقیح توأم بذرها با *برادی‌ریزوبیوم* و *سودوموناس* و در شرایط تنش شدید، تلقیح توأم بذرها با *برادی‌ریزوبیوم* و *گلوموس* موجب افزایش تعداد گره شد (جدول ۴). در آزمایشی، تأثیر باکتری *سودوموناس استریانا* بر همزیستی *برادی‌ریزوبیوم* با سویا مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که تلقیح توأم دو باکتری به طور معنی‌داری گره‌زایی را افزایش داد (Zaidi, 2003).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی سویا تحت تأثیر تنش کم آبی، رقم و کود بیولوژیک

Table 2- Analysis of variance for determined characteristics of soybean under water deficit stress, cultivar and biofertilizer

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	قابلیت ظهور گیاهچه Final emergence index	متوسط ظهور گیاهچه روزانه Maen daily emergence	قطر ساقه Stem diameter	تعداد برگ Leaf number	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	تعداد گره Node number
تنش کم آبی Water deficit stress	2	547.00*	2.79*	0.06	0.31	0.028**	0.103**	0.077*	32.00**
رقم Cultivar	1	1.00	0.01	0.13	0.93**	0.018**	0.012	0.001	7.00
تنش×رقم Stress× Cultivar	2	169.00	0.86	0.13*	0.05	0.001	0.010	0.017	33.00**
کود بیولوژیک Biofertilizer	2	185.00	0.95	0.14*	0.65**	0.030**	0.080**	0.140**	38.00**
تنش×کود بیولوژیک Stress× Biofertilizer	4	229.00	1.17	0.03	0.06	0.003**	0.008	0.009	28.00**
رقم×کود بیولوژیک Cultivar× Biofertilizer	2	120.00	0.61	0.03	0.08	0.010**	0.019	0.012	19.00**
تنش×رقم×کود بیولوژیک Stress× Cultivar× Biofertilizer	4	62.00	0.31	0.03	0.07	0.003*	0.001	0.003	5.00
خطا Error	54	148.00	0.72	0.03	0.13	0.001	0.006	0.024	3.00
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)		16.12	16.12	6.43	8.05	5.75	13.99	26.56	18.49

* و ** به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

* and ** are significant difference at 5 and 1% levels probability, respectively.

در آزمایشی دیگر، تلقیح بذرها سویا با سویه USDA110 *برادی-ریزوبیوم ژاپونیکوم* و مخلوط گونه‌های *گلوموس* باعث افزایش بسیار معنی‌دار گره‌زایی نسبت به *برادی‌ریزوبیوم* تنها شد (Rasi por & Aliasgharzad, 2007). همچنین، در تحقیقی، ترکیب قارچ میکوریزای آرباسکولار و *ریزوبیوم* در لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) (Ahmad, 1995) و در تحقیق دیگری ترکیب قارچ میکوریزا وزیکولار آرباسکولار (*Glomus pallidum* Hall.) و سویه JRC29 *برادی‌ریزوبیوم* در لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis*) (Thomas & Costa, 1996) سبب افزایش تعداد گره شد. نتیجه این آزمایش با بررسی هادی و همکاران (Hadi et al., 2010) که گیاهان حاصل از بذرهای شرایط تنش خشکی از تعداد و وزن خشک گره ریشه بیشتری برخوردار بودند و افزودن *ازتوباکتر کروکوکوم* به مایه تلقیح سویا تعداد و وزن تر گره ریشه را نسبت به تلقیح با مایه تلقیح سویا افزایش داد مطابقت داشت. اثر متقابل رقم و کود بر تعداد گره معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و کود نشان داد که رقم زالتزالها در تلقیح با *برادی‌ریزوبیوم* تعداد گره بیشتری نسبت به لاین Clark×Hobbit تولید نمود، ولی در سایر سطوح کود بیولوژیک، ارقام تفاوتی از نظر این صفت با هم نداشتند (جدول ۴). در تحقیقی بر روی سویا نیز مشخص گردید که *برادی-ریزوبیوم* بر تعداد گره‌های ریشه‌ای تأثیر معنی‌دار و مثبت داشت (Rosas et al., 2002). هادی و همکاران (Hadi et al., 2010) نتیجه گرفتند که گیاهان حاصل از بذرهای شرایط تنش خشکی از تعداد و وزن خشک گره ریشه بیشتری برخوردار بودند و افزودن *ازتوباکتر کروکوکوم* به مایه تلقیح سویا تعداد و وزن تر گره ریشه را نسبت به تلقیح با مایه تلقیح سویا افزایش داد.

بنابراین در این بررسی مشخص شد که تنش کم‌آبی تأثیر منفی برکیفیت بذر داشت و موجب کاهش قابلیت ظهور گیاهچه، متوسط ظهور گیاهچه روزانه، وزن خشک ساقه، برگ و ریشه و تعداد گره شد. در مقایسه ارقام، رقم زالتزالها با وزن خشک ساقه و تعداد برگ بیشتر، رقم برتر بود. کاربرد کود بیولوژیک بر قطر ساقه، وزن خشک ساقه، برگ و ریشه و تعداد برگ و گره مؤثر بود و تلقیح توأم بذرها با *برادی‌ریزوبیوم* و *گلوموس* موجب افزایش صفات مذکور شد. همچنین کاربرد کود بیولوژیک در سطوح مختلف تنش کم‌آبی بر وزن خشک ساقه ارقام مؤثر بود و تلقیح توأم بذرها ارقام با *برادی‌ریزوبیوم* و *گلوموس* موجب افزایش وزن خشک ساقه شد.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی سویا تحت تأثیر تنش کم آبی، رقم و کود بیولوژیک

Table 3- Means comparison of determined characteristics of soybean at water deficit stress, cultivar and biofertilizer levels

رقم Cultivar	کود بیولوژیک Biofertilizer	تنش کم آبی (میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) Water deficit stress (mm)	قابلیت ظهور گیاهچه (درصد) Final emergence index (%)	متوسط ظهور گیاهچه روزانه (گیاهچه/روز) Maen daily emergence (seedling.d^{-1})	تعداد برگ در بوته Leaf number	قطر ساقه (میلی‌متر) Stem diameter (mm)	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry weight (g)	وزن خشک برگ (گرم) Leaf dry weight (g)	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)	تعداد گره در بوته Node number
		50.00	80.00 a*	5.70 a	4.60 a	2.83 a	0.54 a	0.63 a	0.65 a	10.00 a
		100.00	76.00 ab	5.50 ab	4.50 ab	2.79 a	0.50 b	0.58 b	0.58 ab	10.00 a
		150.00	70.00 b	5.00 b	4.40 b	2.73 a	0.47 c	0.50 c	0.53 b	8.00 b
Zalta Zalha			76.00 a	5.40 a	4.60 a	2.83 a	0.52 a	0.58 a	0.59 a	9.00 a
Clark×Hobbit			75.00 a	5.40 a	4.40 b	2.74 a	0.49 b	0.54 a	0.58 a	9.00 a
	B. japonicum		75.00 a	5.40 a	4.40 b	2.70 b	0.47 c	0.53 a	0.51 b	8.00 b
	B. japonicum + *P. fluorescens*		78.00 a	5.60 a	4.50 b	2.80 ab	0.51 b	0.55 b	0.58 ab	10.00 a
	B. japonicum +*G. mosseae*		73.00 a	5.20 a	4.70 a	2.85 a	0.54 a	0.63 a	0.67 a	9.00 a

* در هر ستون سطوح میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حروف مشابه هستند با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column and for each treatment followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using DMRT test.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه تیمارها بر صفات مورد بررسی سویا

Table 4- Mean comparison of the triple interaction effects of treatments on determined characteristics of soybean

رقم Cultivar	تنش کم آبی Water defict stress (mm)	کود بیولوژیک Biofertilizer	قابلیت ظهور گیاهچه (درصد) Final emergence index (%)	متوسط ظهور گیاهچه روزانه (گیاهچه/روز) Maen daily emergence (seedling.d^{-1})	تعداد برگ در بوته Leaf number	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry weight (g)	قطر ساقه (میلی‌متر) Stem diameter (mm)	وزن خشک برگ (گرم) Leaf dry weight (g)	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)	تعداد گره در بوته Node number
Clark×Hobbit	50	Zalta Zalha	82.00 a*	5.90 a	4.80 ab	0.56 a	2.88 a	0.62 ab	0.63 ab	10.80 a
		Clark×Hobbit	77.00 ab	5.50 ab	4.50 a	0.52 b	2.78 ab	0.64 a	0.66 a	9.30 abc
	100	Zalta Zalha	74.00 ab	5.30 ab	4.60 ab	0.52 b	2.90 a	0.61 ab	0.57 ab	8.50 c
		Clark×Hobbit	79.00 ab	5.70 ab	4.50 bc	0.48 c	2.68 b	0.55 bc	0.59 ab	10.50 c
	150	Zalta Zalha	71.00 b	5.10 b	4.50 cd	0.48 c	2.70 b	0.52 cd	0.57 ab	9.10 bc
		Clark×Hobbit	69.00 b	5.00 b	4.30 d	0.46 c	2.77 ab	0.48 d	0.50 b	6.60 d
Zalta Zalha	50	*B. japonicum*	80.00 a	5.70 a	4.40 b	0.48 cd	2.73 ab	0.55 b	0.55 abc	9.40 b
		P. fluorescens+B. japonicum	81.00 a	5.80 a	4.60 a	0.56 ab	2.88 a	0.63 a	0.68 a	12.10 a
		G. mosseae+B. japonicum	77.00 a	5.50 a	4.80 a	0.57 a	2.88 a	0.70 a	0.71 a	8.60 bc
		B. japonicum	74.00 ab	5.30 ab	4.50 b	0.47 cde	2.72 ab	0.55 b	0.51 bc	7.00 c
	100	*P. fluorescens+B. japonicum*	74.00 ab	5.30 ab	4.50 b	0.49 c	2.74 ab	0.53 b	0.56 abc	11.60 a
		G. mosseae+B. japonicum	78.00 a	5.60 a	4.70 a	0.54 b	2.92 a	0.66 a	0.67 ab	9.9 b
		B. japonicum	71.00 ab	5.10 ab	4.30 b	0.45 e	2.66 b	0.48 b	0.48 c	6.90 c
	150	*P. fluorescens+B. japonicum*	79.00 a	5.70 a	4.30 b	0.46 de	2.77 ab	0.47 b	0.50 bc	6.9 c
		G. mosseae+B. japonicum	63.00 b	4.50 b	4.60 b	0.50 c	2.76 ab	0.55 b	0.62 abc	9.80 b
Clark×Hobbit	50	*B. japonicum*	73.00 a	5.20 a	4.50 bc	0.46 c	2.71 b	0.53 bc	0.52 b	9.10 a
		P. fluorescens+B. japonicum	79.00 a	5.70 a	4.50 ab	0.52 b	2.88 a	0.59 ab	0.60 ab	10.10 a
		G. mosseae+B. japonicum	74.00 a	5.30 a	4.80 a	0.57 a	2.88 a	0.62 a	0.65 ab	9.20 a
		B. japonicum	78.00 a	5.60 a	4.20 c	0.47 c	2.69 b	0.52 c	0.51 b	6.40 b
	100	*P. fluorescens+B. japonicum*	77.00 a	5.60 a	4.40 c	0.48 c	2.72 b	0.50 c	0.56 b	10.30 a
		G. mosseae+B. japonicum	71.00 a	5.10 a	4.60 a	0.51 b	2.82 ab	0.65 a	0.69 a	9.70 a

* در هر ستون سطوح تیماری که دارای حداقل یک حروف مشابه هستند با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column and for each treatment followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using DMRT test.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمارها بر صفات مورد بررسی سویا

Table 5- Mean comparison of the twofold interaction effects of treatments on determined characteristics of soybean

تنش کم آبی Water defict stress (mm)	رقم Cultivar	کود بیولوژیک Biofertilizer	قابلیت ظهور گیاهچه (درصد) Final emergence index	متوسط ظهور گیاهچه روزانه (گیاهچه/روز) Maen daily emergence	قطر ساقه (میلی‌متر) Stem diameter	تعداد برگ Leaf number	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry weight	وزن خشک برگ (گرم) Leaf dry weight	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight	تعداد گره Node number
50	Zalta Zalha	*B. japonicum*	79.00 abc*	5.70 abc	2.75 a	4.50 abc	0.48 d-g	0.53 c-f	0.55 abc	11.30 ab
		P. fluorescens+B. japonicum	88.00 a	6.30 a	2.92 ab	4.70 ab	0.57 b	0.66 ab	0.67 abc	12.30 a
		G. mosseae+B. japonicum	79.00 abc	5.70 abc	2.98 d-g	5.00 a	0.63 a	0.66 ab	0.67 abc	8.80 bcd
	Clark×Hobbit	*B. japonicum*	81.00 ab	5.80 ab	2.70 ab	4.30 bc	0.49 d-g	0.57 b-e	0.55 abc	7.50 d
		P. fluorescens+B. japonicum	75.00 abc	5.40 abc	2.84 def	4.60 abc	0.53 cd	0.61 bcd	0.70 ab	12.00 a
		G. mosseae+B. japonicum	75.00 abc	5.40 abc	2.78 ab	4.60 abc	0.55 bc	0.74 a	0.74 a	8.50 cd
100	Zalta Zalha	*B. japonicum*	73.00 abc	5.20 abc	2.76 cd	4.50 abc	0.47 e-h	0.58 b-e	0.51 abc	7.00 de
		P. fluorescens+B. japonicum	69.00 abc	4.90 abc	2.92 e-h	4.60 abc	0.52 cd	0.59 b-e	0.58 abc	11.00 abc
		G. mosseae+B. japonicum	79.00 abc	5.70 abc	3.02 e-h	4.70 ab	0.58 d	0.66 ab	0.63 abc	7.50 d
	Clark×Hobbit	*B. japonicum*	81.00 ab	5.80 ab	2.68 bcd	4.40 bc	0.49 d-g	0.52 def	0.51 abc	7.00 de
		P. fluorescens+B. japonicum	79.00 abc	5.70 abc	2.56 bcd	4.50 abc	0.47 e-g	0.47 def	0.55 abc	12.30 a
		G. mosseae+B. japonicum	77.00 abc	5.50 abc	2.81 bc	4.60 ab	0.51 c-f	0.66 abc	0.71 ab	12.30 a
150	Zalta Zalha	*B. japonicum*	67.00 bc	4.80 bc	2.63 cd	4.60 bc	0.45 gh	0.49 def	0.50 abc	9.00 bcd
		P. fluorescens+B. japonicum	81.00 ab	5.80 ab	2.80 h	4.30 bc	0.49 d-g	0.52 def	0.57 abc	7.00 de
		G. mosseae+B. japonicum	65.00 bc	4.60 bc	2.65 gh	4.80 ab	0.51 cde	0.57 b-f	0.63 abc	11.30 ab
	Clark×Hobbit	*B. japonicum*	71.00 abc	5.10 abc	2.69 fgh	4.00 c	0.46 fgh	0.47 ef	0.47 bc	4.80 e
		P. fluorescens+B. japonicum	77.00 abc	5.50 abc	2.75 cde	4.30 bc	0.43 h	0.42 f	0.43 c	6.80 de
		G. mosseae+B. japonicum	60.00 c	4.30 c	2.87 cd	4.50 abc	0.50 def	0.55 b-f	0.61 abc	8.30 d

* در هر ستون سطوح تیماری که دارای حداقل یک حروف مشابه هستند با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column and for each treatment followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using DMRT test.

منابع

1- Ahmad, M.H. 1995. Compatibility and Co-selection of VAM fungi and *rhizobia* for tropical legumes. Critical Reviews in Biotechnology 115: 229-239.
2- Albrecht, C., Geurts, R., and Bisseling, T. 1999. Legume nodulation and mycorrhizae formation, two extremes in host specificity meet. The EMBO Journal 18(2): 281-288.
3- Aliasgharzad, N., Neyshabouri, M.R., and Salimi, G. 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium japonicum* on drought stress of soybean. Biologia, Bratislava 19: 324-328.
4- Allen, M.F. 2003. The Ecology of Mycorrhizae. Cambridge University Press. New York 534 pp.
5- Allen, M.F., Smith, W.K., Moore, Jr T.S., and Christensen, M. 1981. Comparative water relations and photosynthesis of mycorrhizal and non-mycorrhizal *Bouteloua gracilis*. New Phytologist 88: 683-693.
6- Antunes, P.M. 2004. Determination of nutritional and signaling factors involved in the tripartite symbiosis formed by arbuscular mycorrhizal fungi, *Bradyrhizobium* and soybean. PhD Thesis. The University of Guelph.
7- Asadi Rahmani, H. 1999. Study of the possibility of predicate and necessary for inoculation soybean as based of determination number of *Bradyrhizobium japanicum* and N mineralization potential in soybean grow under soils. MSc Thesis. The University of Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)
8- Beck, D.P., Materon, L.A., and Afandi, F. 1993. Practical Rhizobium-Legume Technology Manual. Technical Manual No. 19. ICARDA. Syria.
9- Diar kianmehr, H., Hashemi nejad, F., and Hajian shahri, M. 2000. Symbiosis of Vesicular Arbuscular Mycorrhiza (VAM) effects on Bromus (*Bromus tectorum* L.) plant growth. Journal of Base Sciences 13(2): 13-27.
10- Diop. T.A., Krasova-Wade, T., Diallo, A., Diouf, M., and Gueye, M. 2003. *Solanum* cultivar responses to arbuscular mycorrhizal fungi: growth and mineral status. African Journal of Biotechnology 2(11): 429-433.
11- Dorenbos, D.L., Mullen, R.E., and Shibles, R.M. 1989. Drought stress effects during seed fill on soybean seed germination and vigor. Crop Science 29: 476-480.
12- FAS (Foreign Agriculture Service) 2005. Oilseeds: world market and trades. Current World Production, Market and trade reports. http://www.fas.usda.gov.
13- Hadi, H., Daneshian, J., Asgharzadeh, A., Hamidi, A., Jonoubi, P., Ghooshchi, F., and Nasri, M. 2009. Effect of free and symbiotic nitrogen fixing bacterial co-inoculation on seed and seedling of soybean seeds produced under deficit water condition. Agroecology 1(1): 53-64. (In Persian with English Summary)
14- Hadi, H., Asgharzadeh, A., Daneshian, J., and Hamidi, A. 2010. Effect of soybean co-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and *Azotobacter chroococcum* on nodule and plant characteristic the seeds produced under drought stress. Soil Research Journal 2A(24): 34-46.
15- Hunter, E.A., Glasbey, C.A., and Naylor, R.E.L. 1984. The analysis of data from germination tests. Journal of Agricultural Science. Cambridge 102: 207-231.
16- Ilbas, A.I., and Sahin, S. 2005. *Glomus fasciculatum* inoculation improves soybean production. Acta Agriculturae Scandinavica 55(4): 287-292.
17- Khan, A.G. 2006. Mycorrhizoremediation-an enhanced form of phytoremediation. Journal Zhejiang University Science B7(7): 503-514.
18- Kloepper, J.W., Scher, F.M., Labiret, E.M., and Tipping, B. 1986. Emergence Promoting Rhizobacteria: Descriptions and Implications for Agriculture, p.: 155-164. In: Iron, Sidrophores and Plant Disease. Ed., Swinburne, T.R., Plenume, New York.
19- Kucey, R.M.N., and Paul, E.A. 1982. Carbon flow, photosynthesis, and N_2 fixation in mycorrhizal and nodulated faba beans (*Vicia faba* L.). Soil Biology and Biochemistry 14: 407-412.
20- Ramadan, M.A.E.H., and Attia, M. 2006. The use of Arbuscular Mycorrhizal fungi to protect plants and soil using contaminated water. Geophysical Research Abstracts 8: 3129-3130.
21- Rasi Pour, L., and Aliasgharzad, N. 2007. The interaction effects of P solution bacteria and (*Bradyrhizobium japanicum*) on growth indices, nodulation and some mineral uptake in soybean. Journal of Sciences and Techniques of Agriculture and Natural Resources 4: 53-63.
22- Rosas, S., Rovera, M., Andres, J., and Correa, N. 2002. Effect of phosphorous solubilizing bacteria on the rhizobialegume symbiosis. Proceedings of the 15th International Meeting on Microbial phosphate Solubilization. Salamanca University, 16-19 July, Salamanca, Spain.
23- Saha, R., Mandal, A.K., and Basu, R.N. 1990. Physiology of seed invigoration treatments in soybean (*Glycine max* L.). Seed Science and Technology 18: 269-276.
24- Sharma, A.K., and Johri, B.N. 2002. Arbuscular Mycorrhizae, Interaction in Plants, Rhizosphere and Soils. Oxford and IBH Publishing, New Delhi, 308 pp.
25- Smiciklas, K.D., Mullen, R.E., Carlson, R.E., and Knapp, A.D. 1989. Drought-induced stress effects on soybean seed calcium and quality. Crop Science 29: 1519-1522.
26- Stankova, P., and Stankov, I. 2001. Effect of the soil drought on the sowing qualities of seeds in common wheat (*T.*

aestivum L). Rasteniev dni–Nauki 38(7/10): 306-308.
27- Taiz, L., and Zigger, E. 1998. Plant Physiology. 2nd edition. The Iowa State University Press. Amsterdam 560 pp.
28- Thiagarajan, T.R., and Ahmad, M.H. 1993. Influence of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus on the competitive ability of *Bradyrhizobium* spp. for nodulation of cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp in non-sterilized soil. Biology and Fertility of Soils 15(4): 294-296.
29- Thomas, A.L., and Costa, J.A. 1996. Effect of water deficit on soybean seed size and seedling vigor. Pesquisa Agropecuria Gaucha 2(1): 57-61.
30- Wasule, D.L., Wadyalkar, S.R., and Buldo, A.N. 2002. Effect of phophate solubilizing bacteria on role of *Rhizobium* on nodulation by soybean. Proceedings of the 15th Meeting on Microbial Phosphate Solubilization. Salamanca University, 16-19 July, Salamanca, Spain.
31- Zaidi, S.F.A. 2003. Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and fluorescent Pseudomonas to control *Rhizoctonia solani* in soybean [*Glycine max* (L.) Merr]. Annals of Agricultural Research 24: 151-153.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، ص. ۳۵۷-۳۴۷

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 347-357

تنوع زیستی سوسک‌های خانواده‌ی کارابیده در بوم‌نظام‌های زراعی شهرستان آزادشهر، استان گلستان

مریم رضایی نوده[۱]، علی افشاری[۲*]، محسن یزدانیان[۲] و غلامعلی آساده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۳

چکیده

سوسک‌های زمینی (خانواده‌ی کارابیده) با داشتن بیش از چهل‌هزار گونه‌ی شناخته شده در دنیا، یکی از مهم‌ترین شکارگرهای عمومی‌خوار در بوم‌نظام‌های کشاورزی به شمار می‌روند. به دلیل تغذیه‌ی اغلب این سخت‌بالپوشان از آفات کشاورزی و بذرهای علف‌های هرز، در این مطالعه تلاش گردید تا تنوع زیستی آن‌ها در بوم‌نظام‌های کشاورزی شهرستان آزادشهر در شرق استان گلستان مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش که طی سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ انجام گرفت، با استفاده از تله‌های گودالی جامعه‌ی سوسک‌های کارابیده در چند بوم‌نظام زراعی مهم مورد ارزیابی قرار گرفت و تنوع زیستی آن‌ها با استفاده از دو شاخص شانون- ویور و معکوس شاخص سیمپسون محاسبه گردید. سوسک‌های این خانواده در مزارع منطقه از غنای گونه‌ای بالایی برخوردار بودند و تعداد ۲۴، ۲۲، ۱۸، ۱۸ و ۱۲ عدد گونه به ترتیب از مزارع کلزا (*Brassica napus* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، باقلا (*Vicia faba* L.) و سویا (*Glycine max* L.) جمع‌آوری و شناسایی شدند. گونه‌های غالب در این مزارع به ترتیب شامل *Harpalus distinguendus* (Duftschmid)، *Agonum dorsale* (Pontoppidan)، *Poecilus cupreus* L.، *Agonum dorsale* (Pontoppidan) و *Harpalus rufipes* (De Geer) بودند. در این مزارع، مقدار شاخص شانون- ویور به ترتیب ۲/۱۶، ۲/۵۷، ۱/۸۱، ۲/۲۲ و ۲ و مقدار شاخص سیمپسون به ترتیب ۴/۹۳، ۱۰/۰۹، ۴/۲۱، ۶/۱۶ و ۶/۱۲ محاسبه شد. بیشترین (۷/۱±۰/۸۵) و کمترین (۰/۴۵±۰/۱۲) میانگین تعداد سوسک‌ها در هر تله به ترتیب در حاشیه‌ی مزارع کلزا و حاشیه‌ی مزارع سویا مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: جامعه، حفاظت، سوسک‌های زمینی، شانون- ویور، غنای گونه‌ای

مقدمه

سوسک‌های زمینی (خانواده‌ی کارابیده) با داشتن بیش از چهل‌هزار گونه‌ی شناخته شده، در بوم‌نظام‌های کشاورزی و جنگلی دنیا از تنوع زیستی بالایی برخوردار می‌باشند (Kromp, 1999). اغلب این سخت‌بالپوشان، شکارگرهایی چندخوار هستند و از آفات مختلف مانند شته‌های غلات (*Rhopalosiphum padi* L.) (Scheller, 1984)، مگس پیاز (*Delia antique* L.) (Grafius & Warner, 1989)، سوسک کلرادوی سیب‌زمینی (*Leptinotarsa decemlineata* Say) (Kromp, 1999)، بید کلم (*Plutella xylostella* L.) (Suenaga & Hamamura, 1998)، راب‌ها و حلزون‌ها (Nash et al., 2008) و بذرهای علف‌های هرز (Saska et al., 2010) تغذیه می‌کنند.

در یک جامعه‌ی بوم‌شناختی، مقدار تنوع زیستی تحت تأثیر تعداد (غنای گونه‌ای) و فراوانی نسبی (یکنواختی) گونه‌ها قرار دارد (Waite, 2000). هر چه تعداد گونه‌های یک جامعه بیشتر و فراوانی نسبی آن‌ها یکنواخت‌تر باشد، آن جامعه متنوع‌تر خواهد بود. به دلیل همه‌جازی‌بودن گونه‌ها و سهولت نسبی نمونه‌برداری و شناسایی سوسک‌های کارابیده، این شکارگرها به عنوان یک شاخص بوم‌شناختی مهم جهت مطالعه‌ی تأثیر اقدامات مختلف مدیریتی یا الگوهای مختلف کشت بر تنوع زیستی بوم‌نظام‌های کشاورزی (Clark et al., 2006) و جنگلی (Work et al., 2008) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

مدیریت نظام زراعی و به عبارت دیگر، ارگانیک یا پرنهاده بودن الگوی کاشت (Kromp, 1989; Shah et al., 2003)، تک‌کشتی یا مخلوط بودن محصول (Altieri, 1995)، عملیات مختلف زراعی مانند خاک‌ورزی (Shearin et al., 2007; Clark et al., 2006) و

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و مربی گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده‌ی مسئول: E-mail: Afshari@gau.ac.ir)

سم‌پاشی (Navntoft et al., 2006; Epstein et al., 2001) و نوع پوشش گیاهی حاشیه‌های مزارع (Collins et al., 2003; Woodcock et al., 2005) ممکن است انبوهی و تنوع زیستی جامعه‌ی سوسک‌های کارابیده را تحت تأثیر قرار دهند. مطالعه‌ی تأثیر سه نظام خاکورزی روی فراوانی سوسک‌های کارابیده‌ی بذرخوار مانند*Harpalus rufipes* (De Geer) و شکارگر مانند *Pterostichus melanarius* Illiger نشان داد که فراوانی این گونه‌ها در کشت‌های بدون خاک‌ورزی نسبت به الگوهای دیگر کشت بیشتر بود و شخم با گاوآهن‌های خاک‌برگردان و چرخشی، فراوانی این سوسک‌ها را به ترتیب ۵۲ و ۵۴ درصد کاهش داد (Shearin et al., 2007). مطالعه‌ی فون سوسک‌های کارابیده در مزارع پرنهاده و ارگانیک انگلستان نشان داد که فراوانی این سخت‌بالپوشان در مزارع ارگانیک از مزارع پرنهاده بیشتر بود (Shah et al., 2003). بر اساس مطالعات ملنیچک و همکاران (Melnychuk et al., 2003) که با استفاده از تله‌های گودالی و در بوم‌نظام‌های مختلف زراعی انجام گرفت، تنوع زیستی سوسک‌های کارابیده در کشت‌های متناوب گیاهان یک‌ساله- غلات از کشت‌های متناوب غلات- گیاهان علوفه‌ای بیشتر بود، اما میانگین فراوانی آن‌ها در این دو سامانه تفاوت معنی‌دار نداشت. کشت مخلوط کلم (*Brassica oleracea* L.) با شبدر (*Trifolium repense* L.) باعث افزایش جمعیت سوسک‌های کارابیده و کاهش جمعیت مگس ریشه‌ی کلم (*Erioischia brassicae* Bouche (Diptera: Antomyiidae) و شته‌ی مومی کلم (*Brevicoryne brassicae* L.) گردید (Altieri, 1995).

در ایران، بیشتر مطالعات به بررسی فون سوسک‌های کارابیده در بوم‌نظام‌های مختلف پرداخته‌اند و تنوع زیستی آن‌ها کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. در فهرست آفات کشاورزی و دشمنان طبیعی ایران، فقط به وجود ۸۹ گونه از این سوسک‌ها اشاره شده است (Modarres Awal, 1997)، در حالی که در کاتالوگ سخت‌بالپوشان منطقه‌ی پالئارکتیک (Löbl & Smetana, 2003) نزدیک به هزار گونه از سوسک‌های کارابیده از ایران گزارش شده‌اند. بر اساس مطالعه‌ی عالیچی و مینایی (Alichi & Minaei, 2002)، فراوانی و تنوع سوسک‌های کارابیده تحت تأثیر نوع محصول و عملیات زراعی مانند شخم و مصرف کودها یا آفت‌کش‌ها قرار داشت. در مطالعه‌ی فون سوسک‌های کارابیده در مزارع گندم، یونجه (*Medicago sativa* L.)، ذرت (*Zea mays* L.) و آیش شهرستان مرودشت که با استفاده از تله‌ی گودالی انجام گرفت، به ترتیب ۱۴، ۱۱، ۶ و ۲ گونه جمع‌آوری شدند که از میان آن‌ها، گونه‌های *Pterostichus leus* Andrewes و*Scarites planus* Bonelli در مزارع گندم از فراوانی بیشتری برخوردار بودند (Homayoon et al., 2002). هم‌چنین، گونه‌هایی از سوسک‌های کارابیده از مزارع پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) (Ghahari et al., 2009a)، برنج (*Oryza sativa* L.) (Ghahari et al., 2009b) و یونجه‌ی شمال ایران (Ghahari et al., 2010) گزارش شده‌اند و در استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی در زمینه‌ی فون سوسک‌های کارابیده در بوم‌نظام‌های کشاورزی، مطالعات جامعی انجام گرفته‌اند (Sadeghi et al., 2010; Sadeghi et al., 2011).

به دلیل اهمیت اغلب سوسک‌های کارابیده در کاهش طبیعی جمعیت آفات، این پژوهش با هدف شناسایی گونه‌های این خانواده و بررسی تنوع زیستی آن‌ها در مزارع شهرستان آزادشهر انجام گرفت تا از این طریق، امکان حفاظت بهتر از آن‌ها در بوم‌نظام‌های کشاورزی فراهم گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی نمونه‌برداری

این پژوهش طی دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ در مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.)، سویا (*Glycine max* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.)، باقلا (*Vicia faba* L.) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) شهرستان آزادشهر (۳۷ درجه‌ی عرض شمالی و ۵۵ درجه‌ی طول شرقی) در شرق استان گلستان انجام گرفت. این شهرستان از سمت جنوب به مناطق کوهستانی و جنگلی و از سمت شمال به دشت گنبدکاووس محدود می‌شود و بنابراین هم‌زمان تحت تأثیر بوم‌نظام‌های جنگلی و زراعی قرار دارد.

روش نمونه‌برداری

به منظور جمع‌آوری سوسک‌های کارابیده از تله‌های گودالی استفاده شد که شامل ظروف پلاستیکی یک‌بار مصرف به قطر ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۱/۵ سانتی‌متر بودند. ابتدا به وسیله‌ی بیلچه، گودال‌هایی در خاک مزارع مورد نظر ایجاد شدند و سپس ظروف پلاستیکی درون آن‌ها قرار گرفتند، به طوری که دهانه‌ی آن‌ها از سطح زمین اندکی پایین‌تر بود. جهت جلوگیری از خورده شدن نمونه-ها توسط یکدیگر و یا مورچه‌ها، در کف تله‌ها مقداری حشره‌کش کاربارایل ریخته شد. تله‌ها به طور معمول هفت تا ۱۰ روز پس از جوانه زدن بذرها در مزارع مورد نظر نصب شدند و تعداد آن‌ها بر حسب وسعت مزرعه از ۱۵ تا ۳۰ عدد متغیر بود. تله‌ها پس از نصب، هر پنج روز یکبار و تا زمان برداشت محصول مورد بازدید قرار گرفتند. وسعت و تعداد مزارع نمونه‌برداری شده، تعداد دفعات و محدوده‌ی زمانی نمونه‌برداری در هر بوم‌نظام در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

سوسک‌های کارابیده‌ی به دام افتاده در تله‌ها پس از حذف مواد زاید و نمونه‌های غیرهدف، جداسازی شدند. نمونه‌های جداسازی شده پس از شمارش، به خوبی با آب و مایع ظرف‌شویی شسته و تمیز شدند تا شناسایی آن‌ها آسان‌تر شود.

جدول ۱- مشخصات مزارع نمونه‌برداری شده طی سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ در شهرستان آزادشهر
Table 1-The characteristics of the sampled fields during 2009 and 2010 in Azadshahr region

محصول Crop	وسعت (هکتار) Area (ha)	تعداد مزارع Number of fields	تعداد کل دفعات نمونه‌برداری Total number of sampling times	محدوده‌ی زمانی نمونه‌برداری Sampling period
گندم Wheat	2	3	20	1 February-8 June ۱۲ بهمن- ۱۸ خرداد
کلزا Rape seed	1	2	10	25 Januray-26 April ۵ بهمن- ۶ اردیبهشت
باقلا Broad bean	0.5	2	10	7 April-24 May ۱۸ فروردین- ۳ خرداد
گوجه‌فرنگی Tomato	1	2	20	25 May-31 August ۴ خرداد-۹ شهریور
سویا Soybean	2	2	12	5 August-6 November ۱۴ مرداد - ۱۵ آبان

سپس با قید تاریخ و محل جمع‌آوری، نمونه‌ها تفکیک و تعدادی از آن‌ها در الکل ۷۵ درصد نگهداری و تعدادی دیگر نیز اتاله شدند. نمونه‌ها با استفاده از منابع معتبر (Lindroth, 1974; Trautner, 1988; Bell, 1990) شناسایی شدند و در موارد نیاز، هویت آن‌ها توسط متخصصان بین‌المللی تأیید گردید.

به منظور پی بردن به تأثیر فاصله از حاشیه‌ی مزرعه بر فراوانی و تنوع سوسک‌های کارابیده، تعدادی از تله‌های گودالیِ در نظر گرفته شده برای هر مزرعه در نزدیک به حاشیه و تعدادی دیگر از آن‌ها در بخش‌های مرکزی مزرعه نصب گردیدند. موقعیت نصب تله‌ها در محصولات مختلف شامل مزارع گندم، ۱۰ عدد تله در فاصله‌ی یک متری و ۲۰ عدد تله در فاصله‌ی ۱۰ متری از حاشیه، مزارع کلزا، ۱۰ عدد تله در فاصله‌ی نیم متری و ۱۰ عدد تله در فاصله‌ی ۲۰ متری از حاشیه؛ مزارع گوجه‌فرنگی، هفت عدد تله در فاصله‌ی نیم متری و هشت عدد تله در فاصله‌ی ۱۵ متری از حاشیه و مزارع سویا، پنج عدد تله در فاصله‌ی یک متری و هفت عدد تله در فاصله‌ی ۲۰ متری از حاشیه بودند.

شاخص‌های تنوع‌زیستی و ضرایب یکنواختی

به منظور محاسبه‌ی تنوع‌زیستی جامعه‌ی سوسک‌های کارابیده از دو شاخص شانون- ویور و معکوس شاخص سیمپسون[1] (به ترتیب، از معادله‌های ۱ و ۲) و به منظور محاسبه‌ی ضریب یکنواختیِ فراوانی گونه‌ها از دو شاخص J_{Pielou} و $E_{Simpson}$ (به ترتیب از معادله‌های ۳ و ۴) استفاده گردید (Waite, 2000; Price, 1997). تمامی محاسبه‌ها و مقایسه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SDR ver. 4.0 (Seaby & Henderson, 2006) و در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند و به منظور مقایسه‌ی میانگین فراوانی در حاشیه‌ها و بخش‌های مرکزی مزارع از آزمون t با سطح احتمال پنج درصد در نرم‌افزار SAS 9.1 (SAS institute, 2003) استفاده گردید.

$$H' = -\sum_{i=1}^{s}(p_i)(\log_e p_i) \qquad \text{معادله (۱)}$$

$$\frac{1}{D} = \frac{N(N-1)}{\sum_{i=1}^{s} n_i(n_i-1)} \qquad \text{معادله (۲)}$$

$$J_{Pielou} = \frac{H'}{Log(S)} \qquad \text{معادله (۳)}$$

$$E_{Simpson} = \frac{1/D}{S} \qquad \text{معادله (۴)}$$

در این معادلات، H': شاخص تنوع شانون، p_i: نسبت تعداد افراد گونه‌ی i ام به تعداد کل افراد (فراوانی نسبی)، D: شاخص تنوع سیمپسون، S: تعداد گونه‌های موجود در جامعه، n_i: تعداد افراد در گونه‌ی i ام و N: تعداد کل افراد جمع‌آوری شده از تمام گونه‌ها می‌باشند. به منظور تعیین گونه‌ی غالب در هر بوم‌نظام از مقدار فراوانی نسبی (p_i) استفاده شد و گونه‌ی دارای بیشترین فراوانی نسبی به عنوان گونه‌ی غالب معرفی گردید.

1- Simpson's reciprocal index

نتایج و بحث

مزارع گندم

طی ۲۰ مرحله نمونه‌برداری از مزارع گندم، در مجموع ۷۳۸ سوسک کارابیده شامل ۲۲ گونه از ۱۰ زیرخانواده جمع‌آوری گردید. گونه‌ی *Agonum dorsale* (Pontoppidan) با فراوانی نسبی ۲۰ درصد، گونه‌ی غالب بود و گونه‌ی *Harpalus distinguendus* (De Geer) با فراوانی نسبی ۱۵ درصد در رتبه‌ی دوم قرار داشت (جدول ۲). مقادیر شاخص‌های شانون (۰/۰۶±۲/۵۷) و معکوس سیمپسون (۱/۰۳±۱۰/۰۹) و نیز ضرایب یکنواختی پیلو (۰/۰۲±۰/۶۶) و سیمپسون (۰/۰۶±۰/۴۲) در مزارع گندم به شکل معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) از محصولات دیگر بزرگ‌تر بودند (جدول‌های ۳ و ۴). میانگین فراوانی (تعداد سوسک در تله در طول فصل رشد گیاهان) جامعه‌ی سوسک‌های کارابیده در حاشیه‌های مزارع گندم به شکل معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) از بخش‌های مرکزی آن‌ها بزرگ‌تر بود، اما تعداد گونه‌ها، ضریب یکنواختی و شاخص تنوع در بخش‌های مرکزی به شکل معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) از حاشیه‌ها بزرگ‌تر بودند (جدول ۵).

تعداد گونه‌های جمع‌آوری شده از مزارع گندم آزادشهر (۲۲ گونه) در مقایسه با تعداد گونه‌های گزارش شده توسط همایون و همکاران (Homayoon et al., 2002) از مزارع گندم مرودشت (۱۴ گونه) و گندم‌های بهاری (۱۷ گونه) و پاییزی (۱۲ گونه) ایالت آیداهو (Hatten et al., 2007) بیشتر، اما در مقایسه با تعداد گونه‌های گزارش شده از مزارع گندم لتونی (۴۱ گونه) (Bukejs & Balalaikins, 2008) کمتر بود. همچنین، ضریب یکنواختی پیلوی جامعه‌ی سوسک‌های کارابیده در منطقه‌ی آزادشهر (۰/۰۲±۰/۶۶) از ضرایب یکنواختی گزارش شده برای گندم‌های بهاری (۰/۳) و پاییزی (۰/۳۸) در آمریکا (Hatten et al., 2007) به مراتب بزرگ‌تر بود. بیشتر بودن تعداد گونه‌ها و بزرگ‌تر بودن ضریب یکنواختی جامعه‌ی سوسک‌های کارابیده در مزارع گندم آزادشهر سبب گردید تا مقدار شاخص تنوع در آن‌ها (۰/۰۶±۲/۵۷) از مقدار این شاخص در مزارع گندم ایالت داکوتای آمریکا (به ترتیب ۰/۹۷۴ و ۰/۸۵۶ در سال‌های اول و دوم یک مطالعه‌ی دوساله) (Ellsbury et al., 1998)، مزارع ارگانیک (۱/۱) و پرنهاده‌ی غلات (۱/۶) در انگلستان (Shah et al., 2003)، مزارع پاییزی (۰/۹۳) و بهاری (۰/۸۵) گندم در ایالت آیداهو (Hatten et al., 2007) بیشتر باشد. در کانادا مقدار شاخص شانون- ویور برای کشت‌های متناوب گیاهان یکساله- غلات و غلات- گیاهان علوفه‌ای به ترتیب ۲/۶ و ۲/۱ گزارش گردید (Melnychuk et al., 2003) که به مقدار محاسبه شده در مزارع گندم آزادشهر نزدیک می‌باشند.

جدول ۲- تعداد و فراوانی نسبی گونه‌های کارابیده‌ی جمع‌آوری شده از مزارع گندم شهرستان آزادشهر

Table 2- Number and relative frequency of ground beetle species collected from wheat fields of Azadshahr region

فراوانی نسبی Relative frequency	تعداد Number	زیرخانواده Subfamily	نام علمی Scientific name
0.2000	149	Pterostichinae	*Agonum dorsale* (Pontoppidan)
0.1500	111	Harpalinae	*Harpalus distinguendus* Duftchmid
0.0950	71	Scaritinae	*Scarites planus* Bonellis
0.0800	59	Pterostichinae	*Amara aenea* (De Geer)
0.0740	55	Trechinae	*Trechus quadristriatus* (Schrank)
0.0600	43	Brachiniae	*Brachinus brevicollis* Motschulsky
0.0530	39	Harpalinae	*Harpalus subtruncatus* Chaudoir
0.0500	36	Pterostichinae	*Laemostenus caspius* Menetries
0.0440	33	Broscinae	*Broscus karelinii* Zoubkoff
0.0430	32	Brachiniae	*Brachinus psophia* Servile
0.0320	24	Pterostichinae	*Amara similata* Gyllenhal
0.0300	22	Lebiinae	*Microlestes fissuralis* Reitter
0.0260	19	Pterostichinae	*Poecilus cupreus* (L.)
0.0200	14	Cicindelinae	*Cicindela germanica* L.
0.0150	11	Harpalinae	*Ophonus melletii* Heer
0.0070	5	Harpalinae	*Acinopus laevigatus* Menetries
0.0057	4	Trechinae	*Bembidion dalmatinum* Reitter
0.0040	3	Trechinae	*Asaphidion flavicorne* (Solsky)
0.0040	3	Nebriinae	*Notiophilus danieli* Reitter
0.0030	2	Callistinae	*Chlaenius flavipes* Menetries
0.0030	2	Harpalinae	*Harpalus tenebrosus* Dejean
0.0013	1	Callistinae	*Chlaenius vestitus* (Paykull)

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های تنوع، ضرایب یکنواختی و تعداد گونه‌های جامعه‌ی سوسک‌های کارابیده در مزارع مختلف شهرستان آزادشهر

Table 3- Diversity indices, Coefficients of evenness, and species number of ground beetles community in different crops in Azadshahr region

محصول Crop	تعداد گونه‌ها Number of species	ضرایب یکنواختی Coefficients of evenness		شاخص‌های تنوع Diversity indices	
		پیلو J_{Pielou}	سیمپسون $E_{Simpson}$	شانون- ویور Shannon-Weaver	معکوس سیمپسون Simpson's reciprocal index
گندم Wheat	22	0.661±0.016	0.420±0.056	2.574±0.0630	10.09±1.031
کلزا Rape seed	24	0.549±0.029	0.205±0.028	2.160±0.1142	4.930±0.666
باقلا Broad bean	18	0.582±0.036	0.342±0.057	2.217±0.1367	6.159±1.149
گوجه‌فرنگی Tomato	18	0.480±0.050	0.234±0.070	1.806±0.1883	4.214±1.043
سویا Soybean	12	0.504±0.044	0.510±0.103	2.009±0.1776	6.125±1.66

جدول ٤- مقادیر دلتا (Δ) در مقایسه‌ی دو به دوی شاخص تنوع شانون (H') و ضریب یکنواختی (J) در محصولات زراعی مختلف، شهرستان آزادشهر

Table 4- The values of Δ in binomial comparison of Shannon's index and Pielou's J coefficient of evenness in different crops, Azadshahr region

محصول Crop	کلزا Rape seed		گندم Wheat		باقلا Broad bean		گوجه‌فرنگی Tomato		سویا Soybean	
	H'	J_{Pielou}	H'	J_{Pielou}	H'	J_{Pielou}	H'	J_{Pielou}	H'	J_{Pielou}
گندم Wheat	0.414*	0.104*	-	-	0.356*	0.089*	0.759*	0.164*	0.564*	0.141*
کلزا Rape seed	-	-	0.414*	0.104*	0.058	0.058	0.345*	0.060	0.150	0.038
باقلا Broad bean	0.058	0.015	0.356*	0.089*	-	-	0.403*	0.074*	0.208*	0.052
گوجه‌فرنگی Tomato	0.345*	0.060	0.759*	0.164*	0.403*	0.074*	-	-	0.195*	0.022
سویا Soybean	0.150	0.038	0.564*	0.141*	0.208*	0.052	0.195*	0.022	-	-

*: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

* is significant at 5% probability level

مزارع کلزا

طی ۱۰ مرحله نمونه‌برداری از مزارع کلزا، در مجموع ۱۱۲۳ سوسک کارابیده، شامل ۲۴ گونه از ۱۱ زیرخانواده جمع‌آوری گردید (جدول ۶). گونه‌ی *Harpalus distinguendus* Duftchmid با فراوانی ۳۹ درصد، گونه‌ی غالب مزارع کلزا بود و گونه‌های *Amara aenea* (De Geer) و *Agonum dorsale* (Pontoppidan) به ترتیب با فراوانی‌های ۱۵ و ۱۳ درصد در رتبه‌های دوم و سوم قرار داشتند. گر چه محصول کلزا از نظر تعداد گونه (۲۴ گونه) و میانگین فراوانی (۴/۲۴±۰/۴۱) سوسک در تله در بخش‌های مرکزی)، در میان بوم‌نظام‌های نمونه‌برداری شده در رتبه‌ی اول قرار داشت (جدول ۵)، اما با در نظر گرفتن ضرایب یکنواختی، مقدار شاخص تنوع در مزارع کلزا پس از مزارع گندم و در کنار مزارع باقلا و سویا در رتبه‌ی دوم قرار گرفت (جدول ۳). همچنین، با وجود بیشتر بودن تعداد گونه‌های به دام افتاده در مزارع کلزا (۲۴ گونه) نسبت به مزارع گندم (۲۲ گونه)، به دلیل کوچک‌تر بودن ضریب یکنواختی در مزارع کلزا، مقدار شاخص تنوع شانون در آن‌ها به شکل معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) از مزارع گندم کوچک‌تر به دست آمد (جدول‌های ۳ و ۴).

شاخص شانون در مزارع کلزا به شکل معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) از مزارع گوجه‌فرنگی بزرگ‌تر بود، اما با مزارع سویا و باقلا اختلاف معنی‌دار نداشت. همانند مزارع گندم، در مزارع کلزا نیز میانگین فراوانی جامعه‌ی سوسک‌های کارابیده در حاشیه‌ها (۷/۱±۰/۸۵)

سوسک در هر تله) به شکل معنی‌دار (p≤۰/۰۵) از بخش‌های مرکزی (۴/۲۴±۰/۴۱) بزرگ‌تر بود. هم‌چنین با وجود آن که تعداد گونه‌های به دام افتاده در حاشیه‌ها (۲۴ گونه) اندکی از بخش‌های مرکزی (۲۲ گونه) بیشتر بود، اما به دلیل یکنواخت‌تر بودن فراوانی‌ها در بخش‌های مرکزی نسبت به حاشیه‌ها، مقدار شاخص شانون در بخش‌های مرکزی (۲/۳۲±۰/۰۶) به شکل معنی‌دار (p≤۰/۰۵) از حاشیه‌ها (۲/۰۸±۰/۰۵) بزرگ‌تر بود (جدول ۵).

مزارع باقلا

طی ۱۰ مرحله نمونه‌برداری از مزارع باقلا، در مجموع ۱۸۸ سوسک کارابیده، شامل ۱۸ گونه از شش زیرخانواده جمع‌آوری گردید (جدول ۷). گونه‌ی *Agonum dorsale* (Pontoppidan) با فراوانی ۳۴ درصد، گونه‌ی غالب بود و گونه‌های *Brachinus brevicollis* Motschulsky و *Amara aenea* (De Geer) با فراوانی‌های ۱۳ و ۱۲ درصد به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار داشتند (جدول ۷). در مزارع باقلا، تعداد (۱۸ گونه) و ضریب یکنواختی (۰/۵۸±۰/۰۴) گونه‌ها از تعداد (۲۲ گونه) و ضریب یکنواختی (۰/۶۶±۰/۰۲) گونه‌ها در مزارع گندم کم‌تر بود و در نتیجه، شاخص تنوع در مزارع باقلا (۲/۲۲±۰/۱۴) به طور معنی‌دار (p≤۰/۰۵) از مزارع گندم (۲/۵۷±۰/۰۶) کوچک‌تر به دست آمد.

با وجود کمتر بودن تعداد گونه‌های جمع‌آوری شده از مزارع باقلا (۱۸ گونه) نسبت به مزارع کلزا (۲۴ گونه)، به دلیل یکنواخت‌تر بودن فراوانی نسبی گونه‌ها در مزارع باقلا، شاخص‌های تنوع در این دو بوم‌نظام با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). ضریب یکنواختی گونه‌ها در مزارع باقلا از مزارع گوجه‌فرنگی (۰/۴۸±۰/۰۵) بزرگ‌تر بود، لذا با وجود یکسان بودن تعداد گونه‌های جمع‌آوری شده در این دو بوم‌نظام (۱۸ گونه)، تنوع زیستی مزارع باقلا (۲/۲۲±۰/۱۴) به شکل معنی‌دار (p≤۰/۰۵) از مزارع گوجه‌فرنگی (۱/۸۱±۰/۱۹) بیشتر بود. مقایسه‌ی مزارع باقلا و سویا نیز نشان داد که با وجود معنی‌دار نبودن اختلاف بین یکنواختی این دو بوم‌نظام، به دلیل تفاوت چشم‌گیر تعداد گونه‌های جمع‌آوری شده از مزارع باقلا (۱۸ گونه) و سویا (۱۲ گونه)، شاخص تنوع مزارع باقلا به شکل معنی‌دار (p≤۰/۰۵) از مزارع سویا بزرگ‌تر بود (جدول ۴).

مزارع گوجه‌فرنگی

طی ۲۰ مرحله نمونه‌برداری از مزارع گوجه‌فرنگی، در مجموع ۴۴۰ گونه سوسک کارابیده، شامل ۱۸ گونه از هشت زیرخانواده جمع‌آوری گردید (جدول ۸). گونه‌ی *Poecilus cupreus* (L.) با فراوانی ۳۷ درصد، گونه‌ی غالب بود و گونه‌های *Harpalus rufipes* (De Geer) و *Scarites planus* Bonelli به ترتیب با فراوانی‌های ۲۶ و ۱۳ درصد در رتبه‌های دوم و سوم قرار داشتند.

جدول ۵- میانگین فراوانی، تعداد گونه، مقدار شاخص تنوع شانون و ضرایب یکنواختی جامعه‌ی سوسک‌های کارابیده در حاشیه و عمق بوم‌نظام‌های مختلف زراعی شهرستان آزادشهر

Table 5- Mean abundance, number of species, Shannon-Weaver's index, and coefficients of evenness of ground beetles community in different crops in Azadshahr region

گیاه زراعی Crop	میانگین فراوانی Mean abundance				تعداد گونه Number of species		شاخص شانون- وینر Shannon-Weaver's index		ضریب یکنواختی پیلو Pielou's J coefficient of evenness		
	حاشیه Margin	مرکز Center	t	p	حاشیه Margin	مرکز Center	حاشیه Margin	مرکز Center	دلتا Δ	حاشیه Margin	مرکز Center	دلتا Δ
گندم Wheat	1.70±0.22	0.86±0.09	3.50	0.001*	15	21	2.297±0.066	2.524±0.070	0.2271*	0.5901	0.6485	0.0584*
کلزا Rape seed	7.10±0.85	4.24±0.41	2.99	0.003*	24	22	2.078±0.050	2.232±0.0574	0.1543*	0.5284	0.5676	0.0392*
گوجه‌فرنگی Tomato	1.51±0.24	1.43±0.15	0.32	0.740	15	15	1.930±0.070	1.710±0.077	0.2196*	0.5070	0.4877	0.0577*
سویا Soybean	0.45±0.12	0.50±0.11	0.29	0.770	10	10	1.905±0.185	1.893±0.139	0.0118	0.4775	0.4746	0.0029

*: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

* is significant at 5% probability level

جدول ٦- تعداد و فراوانی نسبی گونه‌های کارابیده‌ی جمع‌آوری شده از مزارع کلزای شهرستان آزادشهر

Table 6- Number and relative frequency of ground beetle species collected from rape seed fields of Azadshahr region

فراوانی نسبی Relative frequency	تعداد Number	زیرخانواده Subfamily	نام علمی Scientific name
0.3900	448	Harpalinae	*Harpalus distinguendus* Duftchmid
0.1500	167	Pterostichinae	*Amara aenea* (De Geer)
0.1300	146	Pterostichinae	*Agonum dorsale* (Pontoppidan)
0.0540	61	Harpalinae	*Harpalus subtruncatus* Chaudoir
0.0450	52	Brachininae	*Brachinus brevicollis* Motschulsky
0.0320	36	Pterostichinae	*Poecilus cupreus* (L.)
0.0250	29	Lebiinae	*Microlestes fissuralis* Reitter
0.0240	26	Trechinae	*Trechus quadristriatus* (Schrank)
0.0210	23	Scaritinae	*Scarites planus* Bonellis
0.0180	21	Pterostichinae	*Laemostenus caspius* Menetries
0.0180	21	Trechinae	*Bembidion dalmatinum* Reitter
0.0170	20	Brachininae	*Brachinus psophia* Servile
0.0150	17	Broscinae	*Broscus karelinii* Zoubkoff
0.0120	14	Nebriinae	*Notiophilus danieli* Reitter
0.0100	11	Harpalinae	*Calathus peltatus* Kolenati
0.0080	9	Callistinae	*Chlaenius flavipes* Menetries
0.0070	8	Harpalinae	*Ophonus melletii* Heer
0.0060	6	Pterostichinae	*Amara similata* Gyllenhal
0.0044	5	Harpalinae	*Acinopus laevigatus* Menetries
0.0044	5	Cicindelinae	*Cicindela germanica* L.
0.0030	3	Harpalinae	*Harpalus rufipes* (De Geer)
0.0030	3	Harpalinae	*Harpalus tenebrosus* Dejean
0.0022	2	Callistinae	*Chlaenius vestitus* (Paykull)
0.0009	1	Siagoninae	*Siagona europea* Dejean

جدول ۷- تعداد و فراوانی نسبی گونه‌های کارابیده‌ی جمع‌آوری شده از مزارع باقلای شهرستان آزادشهر

Table 7- Number and relative frequency of ground beetle species collected from broad bean fields of Azadshahr region

فراوانی نسبی Relative frequency	تعداد Number	زیرخانواده Subfamily	نام علمی Scientific name
0.340	64	Pterostichinae	*Agonum dorsale* (Pontoppidan)
0.130	25	Brachiniae	*Brachinus brevicollis* Motschulsky
0.120	23	Pterostichinae	*Amara aenea* (De Geer)
0.081	15	Harpalinae	*Harpalus subtruncatus* Chaudoir
0.053	10	Brachininae	*Brachinus psophia* Servile
0.048	9	Scaritinae	*Scarites planus* Bonelli
0.048	9	Harpalinae	*Harpalus rufipes* (De Geer)
0.044	8	Pterostichinae	*Poecilus cupreus* (L.)
0.033	6	Harpalinae	*Ophonus melletii* Heer
0.026	5	Broscinae	*Broscus karelinii* Zoubkoff
0.022	4	Pterostichinae	*Laemostenus caspius* Menetries
0.018	3	Lebiinae	*Microlestes fissuralis* Reitter
0.012	2	Harpalinae	*Diachromus germanus* (L.)
0.005	1	Scaritinae	*Scarites terricola* Bonelli
0.005	1	Pterostichinae	*Amara similata* Gyllenhal
0.005	1	Pterostichinae	*Pterostichus macer* (Marsham)
0.005	1	Harpalinae	*Dixus eremita* Dejean
0.005	1	Harpalinae	*Harpalus distinguendus* Duftchmid

ضریب یکنواختی در مزارع گوجه‌فرنگی (۰/۰۵±۰/۴۸) در مقایسه با سایر بوم‌نظام‌ها کوچک‌تر بود، به طوری که ۷۶ درصد فراوانی جامعه‌ی سوسک‌های کارابیده تنها به سه گونه اختصاص داشت و ۱۵ گونه‌ی دیگر روی هم رفته ۲۴ درصد جامعه را تشکیل دادند (جدول ۸).

این موضوع باعث گردید تا با وجود زیاد بودن نسبی تعداد گونه‌های جمع‌آوری شده از مزارع گوجه‌فرنگی (۱۸ گونه)، مقدار شاخص تنوع در این مزارع (۰/۱۹±۱/۸۱) به شکل معنی‌دار ($p\leq0/05$) از بوم‌نظام‌های دیگر کوچک‌تر باشد (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۸- تعداد و فراوانی نسبی گونه‌های کارابیده‌ی جمع‌آوری شده از مزارع گوجه‌فرنگی شهرستان آزادشهر

Table 8- Number and relative frequency of ground beetle species collected from tomato fields of Azadshahr region

فراوانی نسبی Relative frequency	تعداد Number	زیرخانواده Subfamily	نام علمی Scientific name
0.3700	165	Pterostichinae	*Poecilus cupreus* (L.)
0.2600	120	Harpalinae	*Harpalus rufipes* (De Geer)
0.1300	57	Scaritinae	*Scarites planus* Bonelli
0.0600	25	Siagoninae	*Siagona europea* Dejean
0.0400	17	Callistinae	*Chlaenius festivus* (Panzer)
0.0300	12	Pterostichinae	*Pterostichus macer* (Marsham)
0.0300	12	Harpalinae	*Acinopus laevigatus* Menetries
0.0260	11	Cicindelinae	*Cicindela germanica* L.
0.0200	7	Brachininae	*Brachinus brevicollis* Motschulsky
0.0080	3	Pterostichinae	*Agonum dorsale* (Pontoppidan)
0.0080	3	Harpalinae	*Harpalus subtruncatus* Chaudoir
0.0040	2	Lebiinae	*Microlestes fissuralis* Reitter
0.0030	1	Lebiinae	*Zuphium olens* (Rossi)
0.0030	1	Pterostichinae	*Amara aenea* (De Geer)
0.0020	1	Callistinae	*Chlaenius vestitus* (Paykull)
0.0020	1	Harpalinae	*Dixus eremita* Dejean
0.0020	1	Harpalinae	*Harpalus distinguendus* Duftchmid
0.0020	1	Harpalinae	*Harpalus tenebrosus* Dejean

میانگین تعداد سوسک‌های به دام افتاده در حاشیه‌ها و بخش‌های مرکزی مزارع گوجه‌فرنگی با یکدیگر تفاوت معنی‌دار نداشتند (جدول ۵) و از نظر تعداد گونه‌های به دام افتاده نیز این دو قسمت از مزارع به طور کامل مشابه بودند (۱۵ گونه)، اما به دلیل بزرگ‌تر بودن معنی‌دار ضریب یکنواختی در حاشیه‌ها (۰/۵۰۷) نسبت به بخش‌های مرکزی (۰/۴۸۸)، شاخص تنوع شانون در حاشیه‌ها (۱/۹۳±۰/۰۷) به طور معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) از بخش‌های مرکزی (۱/۷۱±۰/۰۸) بزرگ‌تر بود (جدول ۵).

در مزارع گوجه‌فرنگی کالیفرنیا (با شرایط مشابه از نظر تعداد و اندازه‌ی تله‌ها و تعداد دفعات نمونه‌برداری) در مجموع، ۳۰۰ سوسک کارابیده شامل ۱۷ گونه جمع‌آوری شدند (Clark, 1999) که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر (۴۴۰ سوسک شامل ۱۸ گونه) تقریباً مشابه می‌باشد. هم‌چنین، شاخص‌های تنوع شانون و سیمپسون برای جامعه‌ی سوسک‌های کارابیده در مزارع پرنهاده‌ی گوجه‌فرنگی کالیفرنیا به ترتیب ۱/۸۹ و ۵/۲۹ و در مزارع ارگانیک گوجه‌فرنگی به ترتیب ۱/۸۷ و ۶/۴۸ برآورد شدند (Clark, 1999) که با مقادیر به دست آمده در پژوهش حاضر تا حدی زیاد مشابه می‌باشند.

مزارع سویا

طی ۱۲ مرحله نمونه‌برداری از مزارع سویا، در مجموع ۶۹ سوسک کارابیده شامل ۱۲ گونه از هشت زیرخانواده جمع‌آوری گردید (جدول ۹). گونه‌ی *Harpalus rufipes* (De Geer) با فراوانی ۲۹ درصد گونه‌ی غالب بود و گونه‌های *Microlestes fissuralis* Reitter و *Scarites planus* Bonelli به ترتیب با فراوانی‌های ۲۱ و ۱۶ درصد در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (جدول ۹). در مقایسه با بوم‌نظام‌های دیگر، تعداد گونه‌های جمع‌آوری شده از مزارع سویا (۱۲ گونه) و میانگین فراوانی آن‌ها (۰/۵±۰/۱۱) سوسک در هر تله در بخش‌های مرکزی) به مراتب کم‌تر بود، اما ضریب یکنواختی آن‌ها (۰/۵±۰/۰۴) در حد نسبتاً بالایی قرار داشت و در مجموع، ضریب شانون در آن‌ها از مزارع گندم و باقلا کوچک‌تر و از مزارع گوجه‌فرنگی بزرگ‌تر بود و با مزارع کلزا تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۴). مقایسه‌ی داده‌های به دست آمده از حاشیه‌ها و بخش‌های مرکزی مزارع سویا نیز نشان داد که این دو بخش از مزارع از نظر میانگین فراوانی، تعداد گونه، میزان یکنواختی و شاخص تنوع زیستی تفاوت معنی‌دار نداشتند (جدول ۵).

مقدار شاخص شانون در مزارع سویای آزادشهر (۲±۰/۱۸) در مقایسه با مزارع سویای ایالت داکوتای آمریکا (۰/۸۷ و ۰/۷۵ به ترتیب در سال‌های اول و دوم یک بررسی دوساله) به طور چشم‌گیری بالاتر بود (Ellsbury et al., 1998) که این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تنوع زیستی بسیار بالای این گروه از سخت‌بالپوشان و توانایی احتمالی آن‌ها در کاهش جمعیت آفات در مزارع آزادشهر باشد. البته، در مزارع سویای این شهرستان گونه‌ی *Harpalus rufipes* (De Geer) از بیشترین فراوانی برخوردار بود، در حالی که در مزارع سویای ایالت نیویورک گونه‌ی *Agonum muelleri* Herbest به عنوان گونه‌ی غالب گزارش شده است (Hajek et al., 2007).

جدول ۹- تعداد و فراوانی نسبی گونه‌های کارابیده جمع‌آوری شده از مزارع سویای شهرستان آزادشهر

Table 9- Number and relative frequency of ground beetle species collected from soybean fields of Azadshahr region

نام علمی Scientific name	زیرخانواده Subfamily	تعداد Number	فراوانی نسبی Relative frequency
Harpalus rufipes (De Geer)	Harpalinae	20	0.290
Microlestes fissuralis Reitter	Lebiinae	15	0.210
Scarites planus Bonelli	Scaritinae	11	0.160
Microlestes plagiatus Duftschmid	Lebiinae	7	0.100
Pterostichus macer (Marsham)	Pterostichinae	4	0.059
Poecilus cupreus (L.)	Pterostichinae	3	0.047
Broscus karelinii Zoubkoff	Broscinae	2	0.031
Calathus peltatus Kolenati	Pterostichinae	2	0.030
Laemostenus caspius Menetries	Pterostichinae	2	0.029
Siagona europea Dejean	Siagoninae	1	0.016
Brachinus brevicollis Motschulsky	Brachininae	1	0.014
Trechus quadristriatus (Schrank)	Trechinae	1	0.014

نوع پوشش گیاهی حاشیه‌ی مزارع بر تنوع و تراکم سوسک‌های کارابیده در درون مزارع مؤثر می‌باشد. به عنوان مثال، در مزارع برخوردار از حاشیه‌های پوشیده شده با علف باغ (*Dactylis glomerata* L.) بیشترین و در مزارع دارای حاشیه‌های پوشیده شده با علف‌هرز سگ‌دم (*Cynosurus cristatus* L.)، کمترین تراکم سوسک‌های کارابیده گزارش شده‌اند (Collins et al., 2003). برخی از گیاهان حاشیه‌ای به دلیل ساختار ویژه‌ی خود، برای پناه‌گرفتن سوسک‌های کارابیده مکانی مناسب می‌باشند و از این طریق، موجب افزایش تنوع زیستی این سخت‌بالپوشان در درون مزارع می‌شوند (Woodcock et al., 2005). در پژوهش حاضر، نوع علف‌های هرز روییده شده در حاشیه‌های مزارع تا حدودی با یکدیگر متفاوت بودند، به طوری که حاشیه‌های مزارع گندم شامل یولاف وحشی (*Avena ludoviciana* Durieu)، مَرغ (*Cynodon dactylon* L.) و برروموس (*Bromus tectorum* L.)، حاشیه‌های مزارع کلزا شامل آقطی (*Sambucus nigra* L.)، برروموس و فرفیون (*Euphorbia* sp.)، حاشیه‌های مزارع گوجه‌فرنگی شامل قیاق (*Sorghum halopense* L.) و بوته‌های جارو (*Sorghum vulgar* L.) و گل آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) و حاشیه‌های مزارع سویا شامل گندجارو (*Artemisia annua* L.)، قیاق و علف اسب (*Conyza canadensis* L.) بودند. ویژگی‌های متفاوت ساختاری، گیاه‌شناختی و شیمیایی این پوشش‌های گیاهی ممکن است از جمله دلایل احتمالی متفاوت بودن تنوع زیستی سوسک‌های کارابیده در بوم‌نظام‌های زراعی باشد.

نتیجه‌گیری

مطالعات سوسک‌های کارابیده در ایران بیشتر بر شناسایی گونه‌های آن‌ها متمرکز بوده و تنوع زیستی آن‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. جامعه‌ی سوسک‌های کارابیده در بوم‌نظام‌های زراعی شهرستان آزادشهر از غنای گونه‌ای بالایی برخوردار بودند (در مجموع ۳۲ گونه)، هر چند که از نظر ساختار گونه‌ای،گونه‌ی غالب، تعداد گونه‌ها، میزان یکنواختی، فراوانی و شاخص‌های تنوع زیستی در میان آن‌ها تفاوت‌هایی مشاهده گردید. از میان بوم‌نظام‌های زراعیِ نمونه‌برداری شده، گندم و گوجه‌فرنگی به ترتیب از بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین مقادیر شاخص‌های تنوع زیستی برخوردار بودند. متفاوت بودن تنوع زیستی ممکن است از نوع محصول، نوع پوشش‌های گیاهی حاشیه‌های مزارع و نوع عملیات کشاورزی اجرا شده در مزارع ناشی شود که اثبات نقش هر کدام از این دلایل به مطالعات بیشتر نیاز دارد. تنوع بخشیدن به پوشش گیاهی منطقه هم در سطح چشم‌انداز و هم در سطح زیستگاه می‌تواند به افزایش تنوع و حفاظت بیشتر از این گروه از سخت‌بالپوشان منجر شود. خوشبختانه، وجود حاشیه‌های بکر و شخم نخورده در اطراف مزارع و نیز نزدیکی آن‌ها به بوم‌نظام‌های جنگلی تا حد زیادی به این تنوع‌بخشی کمک نموده‌اند و این موضوع ممکن است از جمله دلایل احتمالی بالا بودن تنوع زیستی سوسک‌های خانواده‌ی کارابیده در بوم‌نظام‌های زراعی شهرستان آزادشهر باشد. عدم کنترل علف‌های هرز در حاشیه‌های مزارع یا کنترل موضعی آن‌ها (با مد نظر قرار دادن سایر اثرات احتمالی علف‌های هرز) و هم‌چنین عدم سم‌پاشی در زمان اوج جمعیت سوسک‌های کارابیده می‌توانند به حفظ یا افزایش تنوع‌زیستی آن‌ها کمک نمایند.

سپاسگزاری

از دکتر یان موئیلویک از کشور هلند به خاطر شناسایی گونه‌های سوسک‌های کارابیده و از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به دلیل حمایت مالی از این پژوهش قدردانی و تشکر به عمل می‌آید.

منابع

1- Alichi, M., and Minaei, K. 2002. Study on distribution of the beetles belonging to the family Carabidae in Shiraz region. 15th Iranian Plant Protection Congress, Razi University of Kermanshah, Iran 7-11 September 2002, p. 175. (In Persian with English Summary)
2- Altieri, M.A. 1995. Biodiversity and biocontrol: lessons from insect pest management. Advances in Plant Pathology (11): 191-209.
3- Bell, R.T. 1990. Insecta: Coleoptera, Carabidae (adults and larvae). In: D.L. Dindal (Ed.). Soil Biology Guide. Johan Willey and Sons. p. 1053-1093.
4- Bukejs, A., and Balalaikins, M. 2008. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of wheat agrocenosis in Latvia. Acta Zoologica Lituanica 18(2): 134-138.
5- Clark, M.S. 1999. Ground beetles abundance and community composition in conventional and organic tomato systems of California's central valley. Applied Soil Ecology 11(2-3): 199-206.
6- Clark, S., Szlavecz, K., Cavigelli, M.A., and Purrington, F. 2006. Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in organic, no-till, and chisel-till cropping systems in Maryland. Environmental Entomology 35(5): 1304-1312.
7- Collins, K.L., Boatman, N.D., Wilcox, A., and Holland, J.M. 2003. Effects of different grass treatments used to create overwintering habitat for predatory arthropods on arable farmland. Agriculture, Ecosystems and Environment 96: 59-67.
8- Ellsbury, M.M., Powell, J.E., Forcella, F., Woodson, W.D., Clay, S.A., and Riedell, W.E. 1998. Diversity and dominant species of ground beetle assemblages (Coleoptera: Carabidae) in crop rotation and chemical input systems for the northern great plains. Annals of the Entomological Society of America 91(5): 619-625.
9- Epstein, D.L., Zack, R.S., Brunner, J.F., Gut, L., and Brown, J.J. 2001. Ground beetle activity in apple orchards under reduced pesticide management regimes. Biological Control 21: 97-104.
10- Ghahari, H., Kesdek, M., Samin, N., Ostovan, H., Havaskary, M., and Imani, S. 2009a. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of Iranian cotton fields and surrounding grasslands. Munis Entomology and Zoology 4(2): 436-450.
11- Ghahari, H., Wojciech, B., Czkowsi, J., Kesdek, M., Otovan, H., and Tabari, M. 2009b. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) from rice fields and surrounding grasslands of Northern Iran. Journal of Biological Control 23 (2): 105-109.
12- Ghahari, H., Avgin, S.S., and Ostovan, H. 2010. Carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) collected from different ecosystems in Iran with new records. Turkish Journal of Entomology 34 (2): 179-195.
13- Grafius, E., and Warner, F.W. 1989. Predation by *Bembidion quadrimaculatum* (Coleoptera: Carabidae) on *Delia antiqua* (Diptera: Anthomyiidae). Environmental Entomology 18 (6): 1056-1059.
14- Hajek, A.E., Hannam, J.J., Nielsen, C., Bell, A.J., and Liebherr, K. 2007. Distribution and abundance of Carabidae (Coleoptera) associated with soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) populations in central New York. Annals of the Entomological Society of America 100(6): 876-886.
15- Hatten, T.D., Bosque-Pérez, N.A., Labonte, J.R., Guy, S.O., and Eigenbrode, S.D. 2007. Effects of tillage on the activity density and biological diversity of Carabid beetles in spring and winter crops. Environmental Entomology 36(2): 356-368.
16- Homayoon, F., Shishehbor, P., and Alichi, M. 2002. Species composition of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in three different crop plants in Marvdasht region. 15th Iranian Plant Protection Congress, Razi University of Kermanshah, Iran, 7-11 September 2002, p. 176. (In Persian with English Summary)
17- Kromp, B. 1989. Carabid beetle communities (Carabidae: Coleoptera) in biologically and conventionally farmed agroecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment 27: 241-251.
18- Kromp, B. 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. Agriculture, Ecosystem and Environment 74: 187-228.
19- Lindroth, C.H. 1974. Handbook for the Identification of British Insects (Coleoptera: Carabidae. Royal Entomological Society publication, London 148 pp.
20- Löbl, I., and Smetana, A. 2003. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Volume I. Archostemata-Myxophaga-Adephaga. Apollo Books, Stenstrup, Denmark 819 pp.
21- Melnychuk, N.A., Olfert, O., Youngs, B., and Gillott, C. 2003. Abundance and diversity of Carabidae (Coleoptera) in different farming systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 95: 69-72.
22- Modarres Awal, M. 1997. List of Agricultural Pests and their Natural Enemies in Iran. Ferdowsi University Press, Iran 429 pp. (In Persian)
23- Nash, M.A., Thomson, L.J., Horne, P.A., and Hoffmann, A.A. 2008. *Notonomus gravis* (Chaudoir) (Coleoptera: Carabidae) predation of *Deroceras reticulatum* Müller (Gastropoda: Agriolimacidae), an example of fortuitous

biological control. Biological Control 47(3): 328-334.
24- Navntoft, S., Esbjerg, P., and Riedel, W. 2006. Effects of reduced pesticide dosages on carabids (Coleoptera: Carabidae) in winter wheat. Agricultural and Forest Entomology 8 (1): 57-62.
25- Price, P.W. 1997. Insect Ecology. 3rd Edition. John Wiley Publication, New York 888 pp.
26- Sadeghi, H., Avgin, S.S., and Farahi, S. 2010. New data to the knowledge of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) fauna of Iran. Turkish Journal of Entomology 34(2): 197-210.
27- Sadeghi, H., Saadi, S. H., and Felix, R. 2011. Ground and tiger beetles (Coleoptera: Carabidae) from Kerman and Khorasan provinces of Iran. Munis Entomology and Zoology 6(1): 186-193.
28- Sadeghi, H. 2011. Studies on species composition of Carabid beetles in Northern provinces of Iran (Coleoptera: Carabidae). Munis Entomology and Zoology 6(1): 268-275.
29- SAS Institute. 2003. SAS/Stat User's Guid, version 9.1. SAS Institute, Cary, NC, USA.
30- Saska, P., Martinkova, Z., and Honek, A. 2010. Temperature and rate of seed consumption by ground beetles (Carabidae). Biological Control 52(2): 91-95.
31- Scheller, H.V. 1984. The role of ground beetles (Carabidae) as predators on early populations of cereal aphids in spring barley. Journal of Applied Entomology 97(1-5): 451-463.
32- Seaby, R.M., and Henderson, P.A. 2006. Species Diversity and Richness Version 4. Pisces Conservation Ltd., Lymington, England.
33- Shah, P.A., Brooks, D.R., Ashby, J.E., Perry, J.N., and Woiwod, I.P. 2003. Diversity and abundance of the coleopteran fauna from organic and conventional management systems in southern England. Agricultural and Forest Entomology 5(1): 51-60.
34- Shearin, A.F., Reberg-Horton, S.C., and Gallandt, E.R. 2007. Direct effects of tillage on the activity and density of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) weed seed predators. Community and Ecosystem Ecology 36(5): 1140-1146.
35- Suenaga, H., and Hamamura, T. 1998. Laboratory evaluation of Carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) as predators of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) larvae biological control. Environment Entomology 27(3):767-772.
36- Trautner, J. 1988. Tiger Beetles, Ground Beetles: Illustrated Key to the Cicindelidae and Carabidae of Europe. Unipub Publication, 488 pp.
37- Waite, S. 2000. Statistical Ecology in Practice. Prentice Hall Publication, London, 414 pp.
38- Woodcock, B.A., Westbury, D.B., Potts, S.G., Harris, S.J., and Brown, V.K. 2005. Establishing field margins to promote beetle conservation in arable farms. Agriculture, Ecosystems and Environment 107: 255-266.
39- Work, T.T., Koivula, M., Klimaszewski, J., Langor, D., Spence, J., Sweeney, J., and Hébert, C. 2008. Evaluation of carabid beetles as indicators of forest change in Canada. Canadian Entomologist 140: 393-414.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، ص. ۳۷۰-۳۵۸

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 358-370

اثر افزایش غلظت دی اکسید کربن بر شاخص‌های رشدکنجد (*Sesamum indicum* L.) و تاج خروس (*Amaranthus retroflexus* L.) و قدرت رقابت آنها

مرتضی گلدانی[1*]، مهدی نصیری محلاتی[2] و محمود شور[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۳

چکیده

دی اکسید کربن یکی از مهمترین نهاده‌های لازم برای رشد گیاهان زراعی محسوب می‌شود. این بررسی به منظور تأثیر غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کنجد (*Sesamum indicum* L.) و تاج خروس (*Amaranthus retroflexus* L.) در شرایط گلخانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار در جعبه‌هایی به طول ۵۰، عرض۳۰ و ارتفاع۳۰ سانتی‌متر انجام شد. فاکتور اول شامل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن (۳۶۵، ۵۲۰ و ۷۵۰ قسمت در میلیون) و فاکتور دوم رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای بود که برای هرکدام از گیاهان کنجد و تاج خروس به طور جداگانه انجام شد. نتایج نشان داد که با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن ارتفاع، تعداد میانگره، طول میانگره و وزن خشک ساقه اصلی کنجد افزایش و برای تاج خروس کاهش یافت. تعداد و طول شاخه‌های جانبی و وزن خشک آنها تحت تأثیر معنی‌دار غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن قرار گرفت، به طوری که افزایش غلظت دی اکسید کربن تأثیر مثبت بر گیاه کنجد و اثر منفی بر تاج خروس داشت. با افزایش غلظت دی اکسید کربن اثر مثبت بر عملکرد دانه کنجد و اثر منفی بر عملکرد دانه تاج خروس داشت. در کنجد اثر رقابت معنی‌دار بود و رقابت بین گونه‌ای برتری داشت. اثر غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن بر میزان فتوسنتز و تعرق در کنجد و تاج خروس معنی‌دار بود. همچنین ازدیاد غلظت دی اکسید کربن منجر به افزایش میزان فتوسنتز و تعرق در کنجد و کاهش آنها در تاج خروس شد. صفات ریشه از جمله سطح، مجموع طول و وزن خشک ریشه در گیاه کنجد تحت تأثیر معنی‌دار غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن قرار گرفت، به طوری که با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن افزایش نشان دادند، ولی در گیاه تاج خروس سطح، متوسط قطر، مجموع طول و وزن خشک ریشه با افزایش غلظت دی اکسید کربن کاهش نشان داد. نسبت ریشه به اندام هوایی تحت تأثیر معنی‌دار غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن بود. این نسبت با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن در گیاه کنجد و در گیاه تاج خروس افزایش داد. به طور کلی، نتایج نشان داد که افزایش غلظت دی اکسید کربن در کنجد به عنوان یک گیاه سه کربنه و گرمادوست، باعث برتری از نظر رشد و تولید خواهد شد و در تاج خروس افزایش غلظت دی اکسید کربن تأثیری برتولید آن نداشت، ولی درجه حرارت بالای ناشی از افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث کوتاهی طول دوره رشد و کاهش سرعت رشد و تولید می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رقابت بین گونه‌ای، رقابت درون گونه‌ای، علف هرز، گیاه زراعی

مقدمه

دی اکسید کربن و درجه حرارت دو متغیر کلیدی مؤثر بر رشد، نمو و کارکرد گیاهان هستند که بر اساس پیش بینی‌های انجام شده افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث ازدیاد درجه حرارت خواهد شد که این مسئله بر رشد گیاهان تأثیر زیادی خواهد گذاشت (Zavareh, 2005). بر اساس تحقیقات انجام شده توسط هیات بین المللی تغییر اقلیم[4] (IPCC)، دی اکسید کربن بیشترین سهم (۵۵ درصد) را در گرمایش جهانی دارد. غلظت این گاز از ۲۸۵ قسمت در میلیون در قبل از انقلاب صنعتی (سال ۱۸۰۰ میلادی)، به ۳۳۷ قسمت در میلیون در سال ۱۹۸۰ و ۳۶۹ قسمت در میلیون در حال حاضر رسیده است (Chen et al., 1996; Fritschi ;Koocheki & Hosseini, 2006 et al., 1999). فرتیش و همکاران (Fritsch et al., 1999) مشاهده کردند که افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب افزایش فتوسنتز گونه‌های سه کربنه و چهار کربنه به ترتیب به میزان ۳۷ و ۲۲ درصد شد.

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استادیار، استاد گروه زراعت و استادیار گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: E-mail: morteza_goldani@yahoo.com)

4- Intergovermental Panel on Climate change

نتایج بررسی زواره (Zavareh, 2005) نشان داد کـه غلظـت دی اکسید کربن اثر مثبت و معنی‌داری بر بهبود میزان تجمع ماده خشک در ژنوتیپ‌های کنجد داشت، به طوری که افزایش غلظت دی اکسـید کربن میانگین تولید ماده را ۱۸ درصد افزایش داد. همچنـین افـزایش غلظت دی اکسید کربن منجر به افزایش ۱۳ درصد نسـبت ریشـه بـه انـدام هـوایی[1] (R/S) شـد. اغلـب کـاهش‌هـای مشـاهده شـده در شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گونه‌های چهـار کربنـه بـه علت مشابهت در متابولیسم کربن توسط آنزیم‌های فتوسنتزی است و نیز به نظر می‌رسد که این کاهش‌ها به علت ناتوانی ریشـه در جـذب مقادیر مناسب و کافی از نیتروژن خاک، جهت تـأمین نیـاز بیشـتر بـه نیتروژن در اثر افـزایش غلظـت دی اکسـید کـربن باشـد (Read & Morgan, 1996).

نتایج مطالعه بـوکر و همکـاران (Booker et al., 2005) نشـان داده است که دی اکسید کربن بر تخصیص ماده خشک به اندام‌هـای هوایی مؤثر است، به طوریکه در گیاه سویا، ازدیاد غلظـت دی اکسـید کربن تخصیص ماده خشـک را بـه ترتیـب در ریشـه، سـاقه و بـرگ افزایش داد. در بررسی دیگر مشاهده شد که افزایش دی اکسید کربن میزان تثبیت کربن در گیاهان سه کربنـه را افـزایش داده و مـی‌توانـد تخصیص کربن به ریشه‌ها بیشتر و در نتیجه بـه طـوری کـه زیسـت توده ریشه افزایش می‌یابد، افزایش غلظت دی اکسید کربن اتمسفری می‌تواند فرآیندهای زیر خاک را بـه شـدت تحـت تـأثیر قـرار دهـد و موجب پاسـخ‌هـای پیچیـده‌ای در بـوم‌نظـام شـود (Griffin et al., 1997).

واکنش‌های مختلف گیاهان نسبت به افزایش غلظت دی اکسـید کربن شامل افزایش فتوسنتز، کاهش هدایت روزنه‌ای، نمو برگ‌هـای بزرگتر، ضخیم‌تر و سنگین‌تر، افزایش شاخه‌دهی، افزایش تعداد گره‌ها، تغییر نسبت ریشه به ساقه، افـزایش رشـد و عملکـرد، کـاهش نشـت کربن از سلول‌های مخصوص غلاف آوندی در گیاهـان چهـار کربنـه (سـورگوم (*Sorghum bicolor* Moench.)) و افـزایش تولیـد متابولیـت‌هـای ثانویـه اسـت (Idso et al., ; Cosins et al., 2001 2000). گیاهان، زمانی که در معرض غلظت زیـاد دی اکسـید کـربن قرار می‌گیرند، جذب مواد غذایی در هر واحد زیستی در خاک کـاهش می‌یابد که این امر می‌تواند از یک سو به دلیـل کمبـود ایـن مـواد در محیط ریشه و از سوی دیگر به علت افزایش کـارایی مصـرف آب در شرایط افزایش غلظت دی اکسید کربن باشد که موجب کاهش جریان توده‌ای مواد از سطح ریشه می‌شـود (Lambers et al., 1996). زواره (Zavareh, 2005) در مطالعه بیش از ۷۰ گزارش منتشر شده و ۴۳۰ مشاهده مربوط به ۳۷ گونـه گیـاهی نشـان داد کـه دو برابـر نمـودن غلظـت دی اکسـید کـربن، عملکـرد گیاهـان را ۳۳ درصـد افـزایش می‌دهد. با این حال گزارش شده است که تمام اندام‌های یک بوته به یک میزان از اثر اتمسفر غنی شده از دی اکسید کربن بهره نمی‌برند و روی کنجد (*Sesamum indicum* L.) نشان داد کـه اثـرات متقابـل دما، دی اکسید کربن و ژنوتیپ و نیز اثر متقابـل دی اکسـید کـربن و ژنوتیپ، بر کل ماده خشک بوته‌های کنجد معنی‌دار نبود، ولی مقایسه دو غلظت (دی اکسید کربن شـامل ۴۰۰ و ۷۰۰ قسـمت در میلیـون) نشان داد که استفاده از ۷۰۰ قسمت در میلیون دی اکسیدکربن منجر به افزایش ماده خشک ریشه تمام ژنوتیپ‌های کنجد مـی‌شـود. تمـام فرایندهای فیزیولوژیکی تک بوته‌ها و همچنـین کـل جامعـه گیـاهی تحت تأثیر رقابت (تداخل منفی) است، به طوری کـه گیاهـان مجـاور برای استفاده از یک میزان ثابت کوانتوم نوری، مواد غـذایی، مولکـول آب و فضا با یکدیگر رقابت می‌کنند (Raaofi, 2006).

کاهش عملکرد گیاه زراعی تا حد زیادی به تراکم علف‌های هـرز رقابت کننده و وزن آنها بستگی دارد. به عبارت دیگر، تعداد یا وزنی از علف هرز وجود دارد که بیشتر از آن باعث تلفات یا خسارت می‌شود و کمتر از آن خسارتی ایجاد نمی‌کند (Ghorbani et al., 2009). نتایج مطالعه اثر افزایش غلظت دی اکسـید کـربن بـر دو علـف هـرز تـاج خروس (چهار کربنه) و سلمه (سه کربنه) نشان داد که سرعت رشـد و فتوسنتز گونه‌های سه کربنه با افزایش غلظت دی اکسید کـربن زیـاد می‌شـود (Ziska et al., 1999). افـزایش غلظـت دی اکسـید کـربن اتمسفری، پاسخ‌های متفاوتی را در گیاهان چهار کربنه و سه‌کربنـه در پی دارد، بنابراین تعادل رقابتی بین این گونه‌ها در آینده تغییر می‌کند. تغییر در رقابت بین گونه‌ها موجب تغییر در سطح فرآیندهای بوم‌نظـام نظیر تبادل گاز و تغییر در چرخه کربن و نیتروژن می‌شـود (Chen et al., 1996). مطالعـات انجـام شـده توسـط زواره (Zavareh, 2005) روی کنجد نشان می‌دهد که افزایش غلظت دی اکسید کربن منجر به افزایش ۱۳ درصدی نسبت ریشه به اندام هوایی[2] (R/S) شد. همچنین افزایش غلظت دی اکسید کربن کاهش ریشه به کـل مـاده خشـک[3] (R/TDM) را بعد از رسیدن به حداکثر مقدار خود به تعویق انداخت. از طرف دیگر، غلظت بالای دی اکسید کـربن انتقـال مـاده خشـک بـه ریشه‌ها را به مدت طولانی‌تری حفظ می‌کند. در شرایطی از تولید کـه آب و مواد غذایی محدودکننده رشد نباشند، تراکم طولی ریشـه تـأثیر زیادی بر این مواد نداشت، وقتی که مواد موجـود در خـاک نتوانسـت تقاضای گیاه را تأمین کند در این زمان میزان جذب توسط هـر گونـه بستگی به سهم آن گونه از کـل ریشـه مـؤثر داشـت. بنـابراین بنظـر می‌رسد که طول ریشه‌های مؤثر یک گونه به طور نسبی و نه به طـور قطعی، توانایی رقابت آن را تعیین می‌کند (Pritchard et al., 2006). گلوی (Galavi, 2004) بیـان داشـت بوتـه‌هـایی کـه توانسـتند

1- Root to Shoot ratio

2- Root to Shoot ratio

3- Root to Total Dry Matter

سریع‌تر ارتفاع، اندام هوایی و سیستم ریشه‌ای منشعبی تولید کنند که نسبت به بوته‌هایی که این ویژگی‌ها را نداشتند، در رقابت موفق‌تر هستند. وی در مطالعه تأثیر رقابت تاج خروس و سوروف (*Echinochloa crus-galli*) بر سویا (*Glycine max* L.) گزارش نمود که تاج خروس از قدرت بالاتری برخوردار است و مشاهده شد که وقتی تاج خروس با تراکم دو بوته در متر ردیف، در مراحل خروج گیاهچه از خاک، مرحله لپه‌ای و مرحله اولین برگ سه برگچه‌ای از رشد سویا سبز شد، وزن خشک ریشه سویا به ترتیب ۱۲/۳، ۱/۹ و صفر درصد کاهش یافت و نتیجه گیری نمود که افزایش تراکم تاج خروس بعلت افزایش رقابت درون گونه‌ای و مصرف منابع غذایی سبب کاهش طول ریشه نسبت به شاهد شده و با افزایش غلظت دی اکسید کربن طول و وزن خشک ریشه سویا نسبت به تاج خروس افزایش می‌یابد و رقابت درون گونه‌ای تاج خروس در شرایط افزایش غلظت دی اکسید کربن بیشتر شده و وزن خشک ریشه در رقابت درون گونه‌ای تاج خروس نسبت به شاهد کاهش یافت. آندالو و همکاران (Andalo et al., 1998) گزارش کردند که افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث تولید بیشتر و سرعت افزایش طول ریشه شده و تراکم ریشه (حجم و طول ریشه) به ویژه در قسمت سطحی خاک افزایش می‌یابد. نتایج مطالعه پرتچارت و همکاران (Pritchard et al., 2006) نشان داد که رشد ریشه در شرایط افزایش غلظت دی اکسید کربن در گیاهان چهار کربنه کاهش می‌یابد، به طوریکه در گیاهی نظیر سورگوم طول و حجم ریشه به علت حفظ بقاء کاهش یافت. برنستون و بزاز (Berntson & Bazzaz, 1996) نشان دادند که در شرایط افزایش غلظت دی اکسید کربن پیری در ریشه‌ها سریع‌تر اتفاق می‌افتد. افزایش غلظت دی اکسید کربن رشد رویشی اندام هوایی را بیشتر از گسترش ریشه تحریک می‌کند و موجب کاهش نسبت R/S می‌شود (Read & Morgan, 1996). در غلظت بالای دی اکسید کربن درجه حرارت مطلوب برای بسیاری از گونه‌های سه کربنه افزایش یافت و شبیه به گیاهان چهار کربنه می‌شود و با توجه به افزایش درجه حرارت مطلوب برای فتوسنتز در نتیجه افزایش غلظت دی اکسید کربن، تحریک رشد گونه‌های سه کربنه در درجه حرارت‌های گرم بیشتر از درجه حرارت‌های سرد است (Koocheki & Hosseini, 2006). در بررسی بروکر و همکاران (Booker et al., 2005) افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث افزایش ارتفاع، تعدادغلاف و زیست توده اندام هوایی در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای شد. با افزایش غلظت دی اکسید کربن رقابت درون گونه‌ای بین بوته‌های تاج خروس نسبت به شرایط غلظت طبیعی دی اکسید کربن بیشترشده و در نتیجه افزایش کمتری در وزن خشک ساقه در تاج خروس نسبت به شاهد در مقایسه با غلظت طبیعی دی اکسید کربن (۳۶۰ قسمت در میلیون) شد. هدف از این آزمایش بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن بر برخی از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کنجد و تاج خروس در شرایط همجواری با یکدیگر است.

مواد روش ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۸ درگلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح غلظت دی اکسید کربن (۳۶۵، ۵۲۰ و ۷۵۰ قسمت در میلیون) و رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای بود که برای هرکدام از گیاهان کنجد و تاج خروس به طور جداگانه انجام شد. عملیات کاشت دستی در جعبه‌هایی به طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۵۰، ۳۰ و ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. جعبه‌ها با مخلوط خاک، خاک‌برگ و کود گاوی پوسیده به نسبت ۳:۱:۱ پر شدند. ترکیب‌های مختلف کشت شامل کشت خالص کنجد، کشت خالص تاج خروس و نسبت ۱:۱ کنجد که در هر جعبه چهار بوته کاشت شد. دمای محیط حدود ۳۳ درجه سانتی‌گراد در طول روز و ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب با رطوبت نسبی حدود ۷۰ درصد تنظیم شد. تیمارهای مختلف دی اکسید کربن در زیر پلاستیک بصورت جداگانه طراحی و غلظت دی اکسید کربن توسط سیستم زمان سنج، با دستگاه دی اکسید کربن‌سنج پرتابل با توجه به حجم داخل اتاقک‌ها کنترل شد. این سیستم به طور اتوماتیک عمل می‌کرد و با استفاده از یک سلول نوری در شب خاموش و با افزایش شدت نور در روز روشن می‌شد. لذا با استفاده از زمان‌سنج‌های تعبیه شده در جعبه فرمان و نیز حجم اتاقک‌ها غلظت‌های مورد نظر به اتاقک‌ها تزریق شد، تا زمان استقرار کامل گیاه (مرحله سه برگی) کلیه تیمارها در شرایط معمولی (۳۶۵ قسمت در میلیون) رشد کردند و بعد از مرحله سه برگی تیمارهای مختلف غلظت دی اکسید کربن اعمال شد.

صفات مورفولوژیکی از جمله ارتفاع گیاه، تعداد گره، طول میانگره، تعداد برگ و تعداد کپسول (برای کنجد) و وزن هزار دانه و وزن کل در شاخه‌های اصلی و فرعی (برای تاج خروس) اندازه‌گیری شد. سپس بوته‌های هر جعبه از محل طوقه قطع و قطر طوقه در محل برش اندازه‌گیری شد. همچنین وزن خشک کل بوته و عملکرد تک بوته و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی درکلیه تیمارها تعیین شد.

در زمان برداشت، برای اندازه‌گیری خصوصیات ریشه از جمله قطر، سطح، ارتفاع، حجم و وزن خشک ریشه‌ها، ریشه‌های مربوط به هر کدام از تیمارهای آزمایش را از خاک خارج کرده و در آزمایشگاه پس از شستشو و رنگ آمیزی با ماده شیمیایی متیلن‌بلو با استفاده از اسکنر کامپیوتری و نرم‌افزار Delta T-scan قطر، سطح، طول ریشه‌ها اندازه گیری شدند. پس از شستشو ریشه‌ها، حجم ریشه توسط

استوانه و بر اساس میزان افزایش حجم آب نسبت به حالت اولیه بر حسب سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی-گراد به آون منتقل شدند. در مرحله گلدهی میزان فتوسنتز و میزان تعرق از سطح جوان‌ترین برگ توسعه یافته در ساعت ۱۰الی ۱۲ صبح با استفاده از دستگاه LCD Portable Photosynthesis System اندازه‌گیری شد.

رسم شکل‌ها و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به ترتیب با استفاده از نرم افزارهای Excel، MSTAT-C انجام شد. به منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر افزایش غلظت دی اکسید کربن بر خصوصیات رویشی و زایشی

ارتفاع، تعداد گره و طول میانگره

اثر غلظت دی اکسید کربن بر ارتفاع بوته، تعداد و طول میانگره معنی‌دار بود (جدول‌های ۱ و ۲). به طوریکه ارتفاع، تعداد گره و طول میانگره کنجد (گیاه سه کربنه) با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن افزایش یافت، ولی این صفات در گیاه تاج خروس (گیاه چهار کربنه) کاهش نشان داد (جدول‌های ۱ و ۲). اثر نوع رقابت بر ارتفاع بوته، تعداد و طول میانگره معنی‌دار بود. حداکثر ارتفاع کنجد در رقابت درون گونه‌ای (۳۷ سانتی‌متر) و حداقل آن در رقابت بین گونه‌ای (۲۶سانتی‌متر) بدست آمد، ولی ارتفاع در گیاه تاج خروس در رقابت درون گونه‌ای ۴۲ سانتی‌متر و در رقابت بین گونه‌ای ۴۴ سانتی‌متر بود (جدول‌های ۱ و ۲).

بررسی اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی (کنجد) علف هرز (تاج خروس) نشان داد که در گیاه کنجد بیشترین ارتفاع و تعداد گره در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای و کمترین آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای به دست آمد. در تاج خروس بیشترین ارتفاع بوته و تعداد گره در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون رقابت بین گونه‌ای بدست آمد (جدول‌های ۱ و ۲).

جدول ۱- اثرات ساده و متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و رقابت (درون گونه‌ای و بین گونه‌ای) بر برخی خصوصیات اندام هوایی کنجد

Table 1- The simple and interaction effects of CO_2 concentrations on intraspecies and interspecies competiton of sesame and amaranthus on some plant characteristics

غلظت دی اکسید کربن (قسمت در میلیون) CO_2 concentration (ppm)	وزن خشک کپسول (گرم) Capsule dry weight (g)	تعداد کپسول Capsule number	وزن خشک ساقه (گرم) Branch dry weight (g)	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry weight (g)	طول شاخه (سانتی‌متر) Branch length (cm)	تعداد شاخه Branch number	فاصله میانگره (سانتی‌متر) Internode distance (cm)	تعداد گره Node number	ارتفاع (سانتی‌متر) Height (cm)
(T_1) 360	0.25	1.5	0.17	0.36	7.0	2.0	3.7	5.7	21
(T_2) 520	0.40	5.0	0.66	0.48	47	4.4	3.8	8.6	33
(T_3) 750	0.84	7.8	0.86	1.28	61	4.5	4.5	9.6	42
LSD (0.05)	0.39*	2.5	0.43	0.61	9.3	0.78	1.1	3.3	12.5
I_1	0.36	3.7	0.40	0.81	18	2.0	4.5	8.3	37
I_2	0.54	5.8	0.70	0.61	58	5.0	3.6	7.6	26
I_1T_1	0.23	1.5	0.17	0.45	7.0	2.0	3.8	5.7	22
I_1T_2	0.43	4.5	0.56	0.50	24	2.3	4.4	8.2	36
I_1T_3	0.63	5.2	0.47	1.70	24	2.0	5.2	11.0	55
I_2T_1	0.28	1.6	0.17	0.28	7.0	2.0	3.7	5.7	21
I_2T_2	0.53	5.5	1.17	0.45	70	6.5	3.3	9.0	30
I_2T_3	1.10	10.5	0.83	0.87	98	7.0	3.8	8.0	29
LSD (0.05)	0.60	3.5	0.61	0.86	7.1	1.1	1.6	5.6	17.7

T_1، T_2 و T_3: به ترتیب غلظت‌های دی اکسید کربن ۳۶۰، ۵۲۰ و ۷۵۰ قسمت در میلیون

T_1, T_2 and T_3: are CO_2 concentrations (360, 520 and 750 ppm), respectively.

I_1 و I_2: به ترتیب رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای

I_1 and I_2 are intraspecies sesame and interspecies sesame and amaranthus, respectively.

*میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

*Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly differet at α=0.05 by LSD test.

جدول ۲- اثرات ساده و متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و رقابت (درون گونه‌ای و بین گونه‌ای) بر برخی خصوصیات اندام هوایی کنجد

Table 2- The simple and interaction effects of CO_2 concentrations on intraspecies and interspicies competiton of sesame and amaranthus on some plant characteristics

غلظت دی اکسید کربن (قسمت در میلیون) CO_2 concentration (ppm)	وزن کل دانه در ساقه اصلی (گرم) Total seed weightof stem (g)	وزن ۱۰۰۰دانه در ساقه اصلی(گرم) 1000 seed weights (g) of main stem	وزن خشک شاخه (گرم) Branch dry weight (g)	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry weight (g)	طول شاخه (سانتی‌متر) Branch length(cm))	تعداد شاخه Branch number	فاصله میانگره Internode distance (cm)	تعداد گره Node number	ارتفاع (سانتی‌متر) Height (cm)
(T_1) 360	0.65	0.15	2.50	3.20	327	32.0	3.1	19.0	59.0
(T_2) 520	0.48	0.06	0.82	0.54	125	12.0	2.2	19.0	38.0
(T_3) 750	0.40	0.06	0.60	0.41	94	12.0	2.0	21.0	32.0
LSD (0.05)	0.23*	0.12	0.85	0.70	79	3.9	0.88	6.5	12.5
I_1	0.50	0.13	1.20	1.33	137	16.0	2.4	18.0	42.0
I_2	0.51	0.05	1.50	1.47	227	20.0	2.3	21.0	44.0
I_1T_1	0.56	0.30	1.35	2.80	147	23.0	2.8	18.0	51.0
I_1T_2	0.59	0.05	1.30	0.70	154	13.0	2.9	16.0	42.0
I_1T_3	0.32	0.06	0.82	0.61	109	13.0	2.0	21.0	34.0
I_2T_1	0.71	0.04	3.70	3.70	506	41.0	3.4	20.0	68.0
I_2T_2	0.41	0.06	0.35	0.40	95	10.0	1.5	22.0	34.0
I_2T_3	0.43	0.06	0.35	0.30	79	11.0	2.0	20.0	30.0
LSD (0.05)	0.32	0.16	1.20	0.98	111	11.5	1.24	9.2	17.7

T_1، T_2 و T_3: به ترتیب غلظت‌های دی اکسید کربن ۳۶۰، ۵۲۰ و ۷۵۰ قسمت در میلیون

T_1, T_2 and T_3: are CO_2 concentrations (360, 520 and 750 ppm), respectively.

I_1 و I_2: به ترتیب رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای

I_1 and I_2 are intraspecies sesame and interspecies sesame and amaranthus, respectively.

*میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

*Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly differet at α=0.05 by LSD test.

مطالعات انجام شده در مورد گیاهان سه کربنه و چهار کربنه توسط زیکا و همکاران (Ziska et al., 1999) و رید و مورگان (Read & Morgan, 1996) حاکی از آن است که سرعت رشد، فتوسنتز و خصوصیات مورفولوژیکی گیاهان سه کربنه با افزایش غلظت دی اکسید کربن نسبت به گیاهان چهار کربنه بیشتر است. در گیاهان سه کربنه با افزایش غلظت دی اکسید کربن میزان تخصیص مواد افزایش یافته و نقطه جبرانی در این گیاهان کاهش می‌یابد (Fritischi et al., 1999; Kafi et al., 2002). در آزمایش دیگر، میزان زیست توده نسبت به تیمار شاهد ۱۸ درصد افزایش نشان داد (Zavareh, 2005). بنظر می‌رسد که میزان تنفس نوری گیاه کنجد به عنوان گیاه سه کربنه در شرایط ازدیاد غلظت دی اکسید کربن کاهش یافته که این امر منجر به تخصیص ماده بیشتر به اندام هوایی شد، به طوری که ارتفاع گیاه، تعداد میانگره و طول میانگره به طور معنی‌داری نسبت به غلظت کمتر دی اکسید کربن افزایش یافت. در رقابت نیز گیاه کنجد با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن به علت سرعت رشد و میزان فتوسنتز بیشتر موفق‌تر بود. از طرفی افزایش غلظت دی اکسید کربن و تحریک رشد رویشی باعث افزایش رقابت در بین گونه‌ای و درون گونه‌ای شده که منجر به ازدیاد ارتفاع گیاه شد، ولی بنظر می‌رسد که کاهش ارتفاع گیاه، تعداد میانگره و طول میانگره با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن در گیاه تاج خروس به عنوان گیاه چهار کربنه به علت درجه حرارت بالا ناشی از افزایش غلظت دی اکسید کربن و کاهش در جذب مواد غذایی لازم و تخصیص آن به اندام هوایی باشد.

تعداد و طول شاخه‌های جانبی

اثر افزایش غلظت دی اکسید کربن بر تعداد و طول شاخه‌های جانبی معنی‌دار بود (جدول‌های ۱ و ۲). با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن، تعداد و طول شاخه‌های جانبی کنجد افزایش یافت، ولی این صفات در تاج خروس کاهش نشان داد (جدول ۱ و ۲). اثر نوع رقابت بر تعداد و طول شاخه‌های جانبی کنجد معنی‌دار بود. به طوریکه طول شاخه‌های جانبی گیاه کنجد در رقابت درون گونه‌ای (۱۸ سانتی‌تر) و در رقابت بین گونه‌ای (۵۸ سانتی‌متر) بدست آمد، ولی در گیاه تاج خروس طول شاخه‌های جانبی در رقابت درون گونه‌ای ۱۳۷سانتی‌متر و در رقابت بین گونه‌ای ۲۲۷ سانتی‌متر بود (جدول‌های ۱ و ۲). بررسی اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی (کنجد) و علف هرز (تاج خروس) نشان داد که بیشترین طول و تعداد شاخه‌های جانبی گیاه کنجد در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای بدست آمد، ولی درگیاه تاج خروس حداکثر طول و تعداد

شاخه‌های جانبی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای و حداقل آنها در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای حاصل شد (جدول-های ۱ و ۲). از آنجاکه ظرفیت فتوسنتزی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و سایر شرایط مطلوب رشد می‌باشد (Aidar et al., 2002) و برای انجام فتوسنتز، دی اکسید کربن از اتمسفر اطراف برگ باید به محل کربوکسیلاسیون رابیسکو انتشار یابد، لذا سرعت انتشار به شیب غلظت دی اکسید کربن بستگی دارد که شیب قابل قبولی نیاز است تا مقدار مناسبی از دی اکسید کربن از سطح برگ به کلروپلاست انتشار یابد (Read & ; Zavareh, 2005 Morgan, 1996). لذا بنظر می‌رسد که در گیاه سه کربنه مانند کنجد با افزایش غلظت دی اکسید کربن در محیط اطراف برگ، میزان و سرعت رشد و فتوسنتز زیاد می‌شود که منجر به افزایش شاخه‌دهی نسبت به شرایط کمبود غلظت دی اکسید کربن می‌گردد. در رقابت نیز افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث سایه اندازی بیشتر، رشد سریعتر و تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی شده که این خود سبب موفقیت در رقابت با یک گیاه چهار کربنه (تاج خروس) می‌گردد.

وزن خشک ساقه اصلی

تفاوت وزن خشک ساقه اصلی در غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن معنی‌دار بود (جدول‌های ۱ و ۲). بیشترین وزن خشک ساقه اصلی کنجد در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۱/۲۸ گرم) و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۳۶ گرم) بدست آمد. در صورتیکه در تاج خروس حداکثر وزن خشک ساقه اصلی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۳/۲ گرم) و حداقل آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۴۱ گرم) حاصل شد (جدول‌های ۱ و ۲). اثر نوع رقابت بر وزن ساقه اصلی گیاه کنجد معنی‌دار بود. به طوریکه وزن خشک ساقه اصلی کنجد در رقابت درون گونه‌ای (۰/۸۱گرم) ودر رقابت بین گونه‌ای (۰/۶۱گرم) بود، ولی وزن خشک ساقه اصلی در تاج خروس در رقابت درون گونه‌ای ۱/۳۳ گرم و در رقابت بین گونه ای ۱/۴۷ بدست آمد (جدول‌های ۱ و ۲). بررسی اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی سه کربنه (کنجد) و علف هرز چهار کربنه (تاج خروس) نشان داد که حداکثر وزن خشک ساقه اصلی در گیاه کنجد در رقابت درون گونه‌ای تاج خروس در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و حداقل آن در رقابت بین گونه‌ای تاج خروس در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن بدست آمد. در تاج خروس بیشترین وزن خشک ساقه اصلی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت بین گونه‌ای و کمترین آن در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت بین گونه‌ای حاصل شد (جدول‌های ۱ و ۲). از آنجا که راندمان تعرق، گرم ماده خشک تولید شده به ازاء هر لیتر تعرق می‌باشد و بسته به گونه گیاهی (سه کربنه و یا چهارکربنه) و غلظت دی اکسید کربن متفاوت است (Chen et al., 1996; Fritschi et al., 1999)، لذا بنظر می‌رسد که با افزایش غلظت دی اکسید کربن محیط و افزایش شیب دی اکسید کربن از سطح برگ به کلروپلاست، روزنه‌های گیاه سه کربنه (کنجد) سریع‌تر بسته شود و راندمان تعرق افزایش یابد. در نتیجه میزان فتوسنتز، تخصیص مواد و وزن خشک در اندام هوایی (وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی) زیاد گردد، لذا در گیاه کنجد با افزایش غلظت دی اکسید کربن وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی افزایش یافت و بر عکس، در تاج خروس در شرایط غلظت دی اکسید کربن کم، وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی در مقایسه با گیاه کنجد افزایش نشان کربنه است، رشد گونه‌های سه کربنه در شرایط افزایش غلظت دی اکسید کربن بیشتر خواهد بود.

وزن خشک شاخه‌های جانبی

اختلاف غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن از نظر وزن خشک شاخه‌های جانبی معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۲). با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن، وزن خشک شاخه‌های جانبی کنجد افزایش یافت. حداکثر آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۸۶ گرم) و حداقل وزن خشک شاخه‌های جانبی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۱۷ گرم) بود، ولی در تاج خروس کاهش نشان داد به طوریکه بیشترین آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۲/۵ گرم) و کمترین وزن خشک شاخه‌های جانبی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۶ گرم) بود (جدول‌های ۱ و ۲). اختلاف وزن خشک شاخه‌های جانبی کنجد از نظر نوع رقابت در غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن معنی‌دار بود. به طوریکه وزن خشک شاخه‌های جانبی کنجد در رقابت درون گونه‌ای ۰/۸۱ گرم و در رقابت بین گونه‌ای ۰/۶۱ گرم بدست آمد. در تاج خروس وزن خشک شاخه‌های جانبی در رقابت درون گونه‌ای ۱/۳۳ گرم و در رقابت بین گونه‌ای ۱/۴۷ حاصل شد (جدول‌های ۱ و ۲). بررسی اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی سه کربنه (کنجد) و علف هرز چهار کربنه (تاج خروس) نشان داد که حداکثر وزن خشک شاخه‌های جانبی کنجد در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون و رقابت بین گونه‌ای و حداقل آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای بدست آمد. در تاج خروس بیشترین وزن خشک شاخه‌های جانبی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت بین گونه‌ای و کمترین آن در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت بین گونه‌ای حاصل شد (جدول‌های ۱ و ۲). از آنجا که راندمان تعرق، گرم ماده خشک تولید شده به ازاء هر لیتر تعرق می‌باشد و بسته به گونه گیاهی (سه کربنه و یا چهارکربنه) و غلظت دی اکسید کربن متفاوت است (Chen et al., 1996; Fritschi et al., 1999)، لذا بنظر می‌رسد که با افزایش غلظت دی اکسید کربن محیط و افزایش شیب دی اکسید کربن از سطح برگ به کلروپلاست، روزنه‌های گیاه سه کربنه (کنجد) سریع‌تر بسته شود و راندمان تعرق افزایش یابد. در نتیجه میزان فتوسنتز، تخصیص مواد و وزن خشک در اندام هوایی (وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی) زیاد گردد، لذا در گیاه کنجد با افزایش غلظت دی اکسید کربن وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی افزایش یافت و بر عکس، در تاج خروس در شرایط غلظت دی اکسید کربن کم، وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی در مقایسه با گیاه کنجد افزایش نشان

داد. در رقابت نیز با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن و تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی، کانوپی کنجد بیشترشد. به طوریکه کنجد در رقابت بین گونه‌ای (با تاج خروس) نسبت به رقابت درون گونه‌ای موفق‌تر بودند.

تعداد و وزن کپسول در کنجد

تفاوت تعداد و وزن کپسول در کنجد در غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن معنی‌دار بود (جدول‌های ۱ و ۲). بیشترین تعداد و وزن کپسول گیاه کنجد در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (به ترتیب برابر با ۷/۸ کپسول و ۰/۸۴ گرم) و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (به ترتیب ۱/۵ کپسول و ۰/۲۵ گرم) بدست آمد (جدول ۱). اثر نوع رقابت بر تعداد و وزن کپسول گیاه کنجد معنی‌دار بود. به طوریکه تعداد و وزن کپسول کنجد در رقابت درون گونه‌ای نسبت به رقابت بین گونه‌ای کمتر بود (جدول ۱). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی (کنجد) نشان داد که بیشترین تعداد و وزن کپسول در گیاه کنجد در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون رقابت بین گونه‌ای (۱۰/۵ کپسول و ۱/۱ گرم) و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت درون گونه‌ای (به ترتیب ۱/۵ کپسول و ۰/۲۳ گرم) بدست آمد (جدول ۱). کاهش تنفس نوری با افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب بهبود عملکرد کوانتومی، میزان فتوسنتز، رشد سریع‌تر و تولید ماده در گیاهان سه کربنه می‌شود (Kafi et al., 2002; Zavareh, 2005). با افزایش غلظت دی اکسید کربن در گیاهان سه کربنه، میزان دی اکسید کربن فضای بین سلولی برگ زیاد شده و نقطه جبرانی دی اکسید کربن کاهش می‌یابد. که این امر موجب افزایش فتوسنتز به مقدار زیادی می‌شود (Wolf et al., 1998; Kafi et al., 2002). اهمیت تسریع در رشد رویشی، تولید اندام فتوسنتزکننده کافی برای حصول به حداکثر محصول و ایجاد گیاهی نسبتاً قوی برای تولید و حفظ عملکرد است. لذا چنانچه در هنگام تکمیل شدن رشد رویشی، گیاه برای انجام حداکثر فتوسنتز به اندازه کافی بزرگ شده باشد، تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام ذخیره‌ای افزایش یافته که منجر به افزایش تعداد و وزن میوه در گیاه می‌شود. بنابراین، با افزایش غلظت دی اکسید کربن و تولید بیشتر مواد فتوسنتزی در گیاه کنجد و تخصیص بخشی از این مواد فتوسنتزی به میوه، تعداد و وزن کپسول زیاد شد. از طرفی بنظر می‌رسد که با افزایش غلظت دی اکسید کربن به علت کاهش فتوسنتز نوری سرعت انتقال موادافزایش می‌یابد و یا درصد بیشتری از مواد فتوسنتزی به کپسول‌ها منتقل می‌شود.

وزن ۱۰۰۰ دانه در ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی تاج خروس

اگرچه اختلاف وزن ۱۰۰۰ دانه در ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی در غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن معنی‌دار نبود (جدول ۲)، ولی بیشترین وزن ۱۰۰۰ دانه در ساقه اصلی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای (۰/۲۸ گرم) حاصل شد، ولی حداکثر وزن ۱۰۰۰ دانه در شاخه های فرعی در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای (۰/۳۲گرم) بدست آمد (جدول ۴). بنظر می‌رسد که به دلیل اینکه ساقه اصلی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن از رشد و زیست توده بیشتری نسبت به غلظت های دیگر دی اکسید کربن برخوردار بود. لذا به علت تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به دانه وزن ۱۰۰۰ دانه در ساقه اصلی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون افزایش یافت، ولی با توجه به اینکه با افزایش غلظت دی اکسید کربن تعداد و وزن کل دانه کم شد، لذا تخصیص مواد به تعداد دانه کمتر باعث افزایش وزن ۱۰۰۰ دانه در شاخه‌های فرعی گردید.

وزن دانه در ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی تاج خروس

اثر غلظت دی اکسید کربن بر وزن دانه در ساقه اصلی معنی‌دار بود (جدول ۲). با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن وزن دانه در ساقه اصلی کاهش یافت. به طوریکه بیشترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۶۵ گرم) و کمترین وزن دانه در ساقه اصلی در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۴۰گرم) بدست آمد (جدول ۲). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه تاج خروس بر وزن دانه در ساقه اصلی معنی‌دار بود. حداکثر وزن دانه در ساقه اصلی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۷۱ گرم) و حداقل آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت درون گونه‌ای (۰/۳۲گرم) بدست آمد (جدول ۲). اختلاف غلظت‌های متفاوت دی اکسید کربن بر وزن دانه در شاخه‌های فرعی معنی‌دار بود (جدول ۲). به طوریکه حداکثر آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۷/۴ گرم) و کمترین وزن دانه در شاخه‌های فرعی در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۲/۷ گرم) بدست آمد (جدول ۲). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه تاج خروس بر وزن دانه در شاخه‌های فرعی معنی‌دار بود، به طوریکه حداکثر وزن کل دانه در شاخه‌های فرعی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۹/۷ گرم) و حداقل آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت بین گونه‌ای (۱/۸۷ گرم) حاصل شد (جدول ۲). در این مطالعه با افزایش غلظت دی اکسید کربن طول دوره رشد (بخصوص دوره زایشی) گیاه تاج

خروس کاهش نشان داد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2007) نیز گزارش کردند که با افزایش غلظت دی اکسید کربن و در نتیجه افزایش درجه حرارت طول دوره رشد و شاخص برداشت آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و نخود (*Cicer arientinum* L.) کاهش یافت. از آنجا که سرعت فتوسنتز تابعی از درجه حرارت است، فتوسنتز تا رسیدن به یک حد مطلوب درجه حرارت افزایش می‌یابد و سپس به علت اثرات بازدارندگی درجه حرارت، فتوسنتز کاهش نشان می‌دهد. در غلظت بالای دی اکسید کربن، عرضه دی اکسید کربن در محل کربوکسیلاسیون زیاد می‌شود و افزایش درجه حرارت ناشی از افزایش غلظت دی اکسید کربن، میل ترکیبی رابیسکو را با دی اکسید کربن کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، با افزایش درجه حرارت، تنفس نیز زیاد می‌شود (Kafi et al., 2002; Koocheki & Hosseini, 2007). لذا بنظر می‌رسد که افزایش درجه حرارت، یکی از عوامل مؤثر در کاهش طول دوره رشد است که منجر به کاهش ارتفاع، تعداد میانگره، فاصله میانگره، تعداد و طول شاخه‌های جانبی، وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های جانبی می‌شود. در نتیجه مواد تخصیص یافته به دانه کم شده که در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه در تک بوته می‌شود.

خصوصیات ریشه

سطح ریشه: اثر غلظت دی اکسید کربن بر سطح ریشه در تاج خروس و کنجد معنی‌دار بود (جدول ۴)، به طوری که حداکثر آن برای تاج خروس در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۶۸۰۳ سانتی‌متر مربع) و کمترین سطح ریشه غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۳۸۲۰ سانتی‌متر مربع) (جدول ۴)، ولی در کنجد حداکثر و حداقل سطح ریشه به ترتیب برای غلظت‌های ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۳۲۰۹ سانتی‌متر مربع) و ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۱۳۱۸ سانتی‌متر مربع) بدست آمد (جدول ۳). سطح ریشه در شرایط رقابت نیز معنی‌دار بود. به طوری که در تاج خروس در رقابت درون گونه‌ای (۶۷۴۸ سانتی متر مربع) و در رقابت بین گونه‌ای (۲۹۹۹ سانتی متر مربع) حاصل شد (جدول ۴) و برای کنجد در رقابت درون گونه‌ای (۱۹۳۲ سانتی‌متر مربع) و در رقابت بین گونه‌ای (۲۲۶۴ سانتی متر مربع) بدست آمد (جدول ۳). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت روی سطح ریشه معنی‌دار بود (جدول‌های ۳ و ۴) که بیشترین سطح ریشه برای گیاه تاج خروس در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون و رقابت درون گونه‌ای (۸۹۳۴ سانتی‌متر مربع) و کمترین سطح ریشه در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون و رقابت بین گونه‌ای (۱۷۸۹ سانتی‌متر مربع) حاصل شد. برای کنجد حداکثر سطح ریشه در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون و رقابت بین گونه‌ای (۴۰۷۴ سانتی‌متر مربع) حداقل آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون و رقابت بین گونه‌ای (۱۱۸۲ سانتی‌متر مربع) بدست آمد (جدول‌های ۳ و ۴). افزایش غلظت دی اکسید کربن، باعث تولید بیشتر و سرعت توسعه ریشه در گیاه سه کربنه می‌شود (Griffin et Andalo et al., 1998; al., 1996). بنظر می‌رسد که از جمله اثرات ازدیاد غلظت دی اکسید کربن، فتوسنتز در بخش‌های پایینی کانوپی گیاه است. به طوری که گیاه کنجد نیز با افزایش غلظت دی اکسید کربن از سرعت رشد بیشتر اندام هوایی و مکانیسم توسعه سطح ریشه در حجم خاک معین برخوردار بود، لذا در رقابت بین گونه‌ای بر تاج خروس فائق آمد و در رقابت درون گونه‌ای به علت نهاده‌های مشترک سطح ریشه کاهش نشان داد.

متوسط قطر ریشه: اختلاف غلظت‌های متفاوت دی اکسید کربن بر متوسط قطر ریشه در تاج خروس و گیاه کنجد معنی‌دار بود (جدول‌های ۳ و ۴)، به طوری که حداکثر آن برای تاج خروس در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۱/۲۱ میلی‌متر) و کمترین متوسط قطر ریشه در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۶۸ میلی‌متر) بود (جدول ۳)، ولی در گیاه کنجد حداکثر و حداقل متوسط قطر ریشه به ترتیب در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۷۶ میلی‌متر) و در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۵۶ میلی‌متر) بدست آمد (جدول ۳). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت نشان داد (جدول‌های ۳ و ۴). که بیشترین متوسط قطر ریشه گیاه تاج خروس در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای (۱/۳۳ میلی‌متر) و کمترین آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن در رقابت بین گونه‌ای (۰/۶۷ میلی‌متر) حاصل شد، ولی برای گیاه کنجد حداکثر متوسط قطر ریشه در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۸۸ میلی‌متر) حداقل آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۴۹ میلی‌متر) بدست آمد (جدول‌های ۳ و ۴).

مجموع طول ریشه: اختلاف غلظت‌های متفاوت دی اکسید کربن از نظر مجموع طول ریشه معنی‌دار بود (جدول‌های ۳ و ۴). با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن، مجموع طول ریشه گیاه کنجد افزایش یافت. حداکثر آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون (۴۱۵۱ سانتی‌متر) و حداقل مجموع طول ریشه در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون (۱۸۷۷ سانتی‌متر) بود، ولی در گیاه تاج خروس کاهش نشان داد، به طوری که بیشترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون (۶۰۰۳ سانتی‌متر) و کمترین مجموع طول ریشه در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون (۳۸۵۷ سانتی‌متر) بود (جدول‌های ۳ و ۴). اختلاف مجموع طول ریشه کنجد از نظر نوع رقابت در غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن معنی‌دار بود. مجموع طول ریشه گیاه کنجد در

رقابت درون گونه‌ای ۲۸۹۰ سانتی‌متر ودر رقابت بین گونه‌ای ۳۰۹۲ سانتی‌متر بدست آمد، ولی در گیاه تاج خروس مجموع طول ریشه در رقابت درون گونه‌ای ۶۹۱۸ سانتی‌متر و در رقابت بین گونه‌ای ۳۲۸۶ سانتی‌متر بدست آمد (جدول‌های ۳ و ۴). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی سه کربنه (کنجد) و علف هرز چهار کربنه (تاج خروس) نشان داد که حداکثر مجموع طول ریشه گیاه کنجد در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون و رقابت بین گونه‌ای (۴۷۳۶ سانتی‌متر) و حداقل آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون و رقابت بین گونه‌ای (۱۶۷۵ سانتی‌متر) بدست آمد، ولی درگیاه تاج خروس بیشترین مجموع طول ریشه در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون و رقابت درون گونه‌ای (۸۱۰۵ سانتی‌متر) و کمترین آن در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون رقابت بین گونه‌ای (۱۹۰۵ سانتی‌متر) حاصل شد (جدول‌های ۳ و ۴). افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث کمبود مواد غذایی در اطراف فعالیت رشد ریشه گیاه می‌شود. بنابراین در شرایط افزایش غلظت دی اکسید کربن واکنش گیاه به اضافه نمودن کود نیتروژن مثبت است (Sowerby et al. 2005; Lambers et al., 1997). بنظر می‌رسد که طویل شدن ریشه و افزایش عمق نفوذ ریشه حاکی از نیاز گیاه جهت جذب مواد غذایی خاک و تأمین رشد اندام هوایی می‌باشد. لذا ازدیاد غلظت دی اکسید کربن در گیاه کنجد باعث توسعه و نفوذ پذیری بیشتر ریشه در خاک شد و افزایش غلظت دی اکسید کربن همراه با درجه حرارت بالا باعث کاهش طول ریشه در تاج خروس گردید.

وزن خشک ریشه: تفاوت وزن خشک ریشه در غلظت‌های متفاوت دی اکسید کربن معنی‌دار بود (جدول‌های ۳ و ۴). بیشترین وزن خشک ریشه گیاه کنجد در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۰۹گرم) و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۱۰ گرم) بدست آمد. در صورتیکه در گیاه تاج خروس حداکثر وزن خشک ریشه در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۷۲ گرم) و حداقل آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۲۸ گرم) حاصل شد (جدول-های ۳ و ۴).

جدول ۳- اثرات ساده و متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای بر برخی خصوصیات ریشه کنجد

Table 3- The simple and interaction effects of CO_2 concentrations on intraspecies and interspicies competiton of sesame and amaranthus on some plant characteristics

غلظت دی اکسید کربن (قسمت در میلیون) CO_2 concentration (ppm)	نسبت اندام هوایی به ریشه Root/shoot ratio	حجم ریشه (متر مکعب) Root volume (m^3)	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)	مجموع طول ریشه (سانتی‌متر) Root length Total (cm)	قطر ریشه (سانتی‌متر) Root diameter (cm)	سطح ریشه (سانتی‌متر مربع) Root surface area (cm^2)
(T_1) 360	0.110	0.58	0.10	1877	0.65	1768
(T_2) 520	0.173	0.60	0.31	3095	0.76	1318
(T_3) 750	0.040	0.76	0.90	4151	0.56	3209
LSD (0.05)	0.07*	0.29	0.06	869	0.15	798
I_1	0.08	0.63	0.09	2890	0.66	1932
I_2	0.14	0.66	0.18	3092	0.65	2265
I_1T_1	0.133	0.58	0.08	2080	0.71	1453
I_1T_2	0.073	0.63	0.09	3026	0.64	1999
I_1T_3	0.030	0.67	0.10	3565	0.64	2344
I_2T_1	0.090	0.53	0.08	1675	0.58	1182
I_2T_2	0.273	0.50	0.12	3164	0.88	1537
I_2T_3	0.050	0.94	0.34	4736	0.49	4074
LSD (0.05)	0.09	0.41	0.08	1229	0.21	1128

T_1، T_2 و T_3: به ترتیب غلظت‌های دی اکسید کربن ۳۶۰، ۵۲۰ و ۷۵۰ قسمت در میلیون

T_1, T_2 and T_3: are CO_2 concentrations (360, 520 and 750 ppm), respectively.

I_1 و I_2: به ترتیب رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای

I_1 and I_2 are intraspecies sesame and interspecies sesame and amaranthus, respectively.

*میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

*Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly differet at α=0.05 by LSD test.

جدول ٤- اثرات ساده و متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای بر برخی خصوصیات ریشه گیاه تاج خروس در شرایط گلخانه

Table 4- The simple and interaction effects of CO_2 concentrations on intraspecies and interspicies competiton of sesame and amaranthus on some plant characteristics

غلظت دی اکسید کربن (قسمت در میلیون) CO_2 concentration (ppm)	نسبت اندام هوایی به ریشه Root/shoot ratio	حجم ریشه (متر مکعب) Root volume (m^3)	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)	مجموع طول ریشه(سانتی‌متر) Root length Total (cm)	قطر ریشه(سانتی‌متر) Root diameter (cm)	سطح ریشه (سانتی‌متر مربع) Root surface area (cm^2)	وزن کل دانه در شاخه (گرم) Total seed weight of branch (g)	وزن ۱۰۰۰دانه (گرم) 1000 seed weights (g)
(T_1) 360	0.063	1.54	0.72	6003	1.21	6803	7.4	0.06
(T_2) 520	0.058	1.13	0.32	5445	0.97	3999	3.0	0.07
(T_3) 750	0.068	0.94	0.28	3857	0.68	3820	2.7	0.18
LSD (0.05)	0.039*	0.66	0.39	1166	0.36	2015	1.98	0.14
I_1	0.089	1.40	0.65	6918	1.02	6748	4.1	0.15
I_2	0.038	1.03	0.23	3286	0.89	2999	4.6	0.06
I_1T_1	0.10	1.75	0.99	8105	1.33	8934	5.1	0.05
I_1T_2	0.08	1.13	0.54	6840	1.02	5850	4.1	0.07
I_1T_3	0.09	1.25	0.41	5810	0.70	5460	3.2	0.32
I_2T_1	0.03	1.33	0.45	4052	1.10	4673	9.7	0.06
I_2T_2	0.04	1.00	0.11	3902	0.93	2537	2.2	0.07
I_2T_3	0.05	0.75	0.14	1905	0.67	1789	1.87	0.06
LSD (0.05)	0.06	0.63	0.55	1649	0.51	2850	2.2	0.19

T_1، T_2 و T_3: به ترتیب غلظت‌های دی اکسید کربن ۳۶۰، ۵۲۰ و ۷۵۰ قسمت در میلیون

T_1, T_2 and T_3: are CO_2 concentrations (360, 520 and 750 ppm), respectively.

I_1 و I_2: به ترتیب رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای

I_1 and I_2 are intraspecies sesame and interspecies sesame and amaranthus, respectively.

*میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

*Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly differet at α=0.05 by LSD test.

اختلاف وزن خشک ریشه گیاه کنجد از نظر نوع رقابت در غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن معنی‌دار بود، به طوری که وزن خشک ریشه کنجد در رقابت درون گونه‌ای (۰/۰۹گرم) و در رقابت بین گونه‌ای (۰/۱۸گرم) بود، ولی وزن خشک ریشه در گیاه تاج خروس در رقابت درون گونه‌ای ۰/۶۵ گرم و در رقابت بین گونه‌ای ۰/۲۳ گرم بدست آمد (جدول‌های ۳ و ۴). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی (کنجد) علف هرز (تاج خروس) معنی‌دار بود. بیشترین وزن خشک ریشه در گیاه کنجد در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۳۴ گرم) و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۰۹ گرم) بود، ولی در تاج خروس حداکثر وزن خشک ریشه در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای (۰/۹۹ گرم) و حداقل آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۱۱ گرم) بدست آمد (جدول‌های ۳ و ۴). زواره (Zavareh, 2006) گزارش کرد که افزایش غلظت دی اکسید کربن همراه با درجه حرارت بالا باعث وزن خشک بیشتر ریشه شد. سایر محققین (Andalo et al., 1998; Galavi, 2004; Lambers et al., 1996) اظهار داشتند که ازدیاد غلظت دی اکسید کربن طول و وزن خشک ریشه گیاه سه کربنه (مانند سویا) را نسبت به گیاه چهار کربنه (مانند تاج خروس) افزایش می‌دهد و تسریع در رشد اندام هوایی و سیستم ریشه‌ای باعث رقابت موفق‌تر می‌گردد. بنظر می‌رسد که با افزایش غلظت دی اکسید کربن فعالیت متابولیسمی گیاه زیاد شده و این باعث تولید بیشتر و افزایش وزن خشک ریشه می‌گردد.

حجم ریشه: با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن، حجم ریشه گیاه کنجد افزایش یافت. حداکثر آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۷۶ سانتی‌متر مکعب) و حداقل حجم ریشه در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۵۸ سانتی‌متر مکعب) بود، ولی در گیاه تاج خروس با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن حجم ریشه کاهش نشان داد. به طوری که بیشترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۱/۵۴ سانتی‌متر مکعب) و کمترین حجم ریشه در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۹۴ سانتی‌متر مکعب) بود (جدول‌های ۳ و ۴). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت کنجد نشان داد که حداکثر حجم ریشه گیاه کنجد در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی

اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۹۴ سانتی‌متر مکعب) و حداقل آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۵۰ سانتی‌متر مکعب) بدست آمد، ولی درگیاه تاج خروس بیشترین حجم ریشه در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای (۱/۷۵ سانتی‌متر مکعب) و کمترین آن در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت بین گونه‌ای (۰/۷۵ سانتی‌متر مکعب) حاصل شد (جدول‌های ۳ و ۴).

نسبت اندام هوایی به ریشه: اختلاف نسبت اندام هوایی به ریشه در غلظت‌های متفاوت دی اکسید کربن در گیاه کنجد معنی‌دار بود (جدول ۳). حداکثر و حداقل نسبت اندام هوایی به ریشه به ترتیب در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن با ۰/۱۷۳ و غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن با ۰/۰۴ بدست آمد (جدول ۳). نسبت اندام هوایی به ریشه در شرایط رقابت در هر دو گیاه معنی-دار بود. به طوری که در گیاه تاج خروس در رقابت درون گونه‌ای ۰/۰۸۹ و در رقابت بین گونه‌ای ۰/۰۳۸ حاصل شد (جدول ۴). در گیاه کنجد در رقابت درون گونه‌ای ۰/۰۷۹ و در رقابت بین گونه‌ای ۰/۱۳۷ بدست آمد (جدول ۳). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت از نظر نسبت اندام هوایی به ریشه در گیاه کنجد معنی‌دار بود. بیشترین نسبت برای غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای با ۰/۲۷۳ و کمترین آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی‌اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای با ۰/۰۳ حاصل شد (جدول ۳). با رشد ریشه جذب یون‌های غذایی از خاک بیشتر می‌شود و با تولید اندام هوایی انرژی موجود از طریق فتوسنتز نیز افزایش می‌یابد (Kafi et al., 2002). از طرفی افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث تسریع در پیری ریشه شده به طوریکه رشد اندام هوایی بیشتر از رشد ریشه تحریک می‌شود (Read Morgan, 1996; Berntson & Bazzaz, 1996).

سرعت تعرق و فتوسنتز

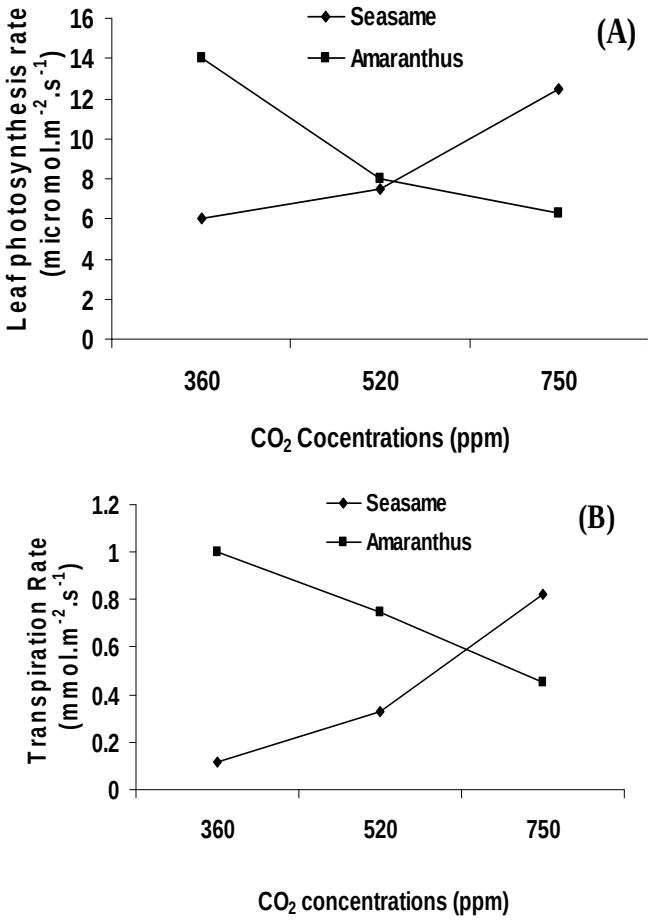
در کنجد و تاج خروس اثر غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن بر میزان تعرق و فتوسنتز معنی‌دار بود (شکل ۱). در کنجد با افزایش غلظت دی اکسید کربن میزان تعرق و فتوسنتز زیاد شد. به طوریکه حداکثر میزان تعرق در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون (۰/۸ میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه) و حداقل آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون (۰/۱۲ میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه) حاصل شد. بیشترین میزان فتوسنتز در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون (۱۲ میکرومول بر متر مربع در ثانیه) و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون (۶ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه) بدست آمد (شکل ۱). از آنجا که با افزایش غلظت دی اکسید کربن تولید ماده خشک در گیاه کنجد زیاد شد (جدول ۱)، بنظر می‌رسد که راندمان تعرق و نسبت فتوسنتز به تعرق با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن بیشتر شده و شیب انتشار دی اکسید کربن از سطح برگ به کلروپلاست تندتر می‌گردد، از طرفی میزان دی اکسید کربن فضای بین سلولی برگ زیاد شده و نقطه جبرانی دی اکسید کربن کاهش می‌یابد، در نتیجه میزان فتوسنتز و میزان تعرق افزایش یافت. البته میزان ازدیاد تعرق از میزان فتوسنتز کمتر بود (Kafi, 2002 ;Wolfe et al., 1998). در تاج خروس با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن میزان تعرق و فتوسنتز کم شد، به طوریکه حداکثر میزان تعرق در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون (۰/۹۸میلی مول بر متر مربع در ثانیه) و حداقل آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون (۰/۴۰میلی مول بر متر مربع در ثانیه) بدست آمد. بیشترین میزان فتوسنتز در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون (۱۴میکرو مول بر متر مربع در ثانیه) و کمترین آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون (۶/۵ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه) بود (شکل ۱). از آنجا که گیاهان چهار کربنه (تاج خروس) نسبت تعرق بیشتری نسبت به گیاه سه کربنه دارند، یعنی برای تثبیت یک مول دی اکسید کربن میزان آب کمتری از دست می‌دهند، لذا به علت شیب انتشار ملایم دی اکسید کربن از سطح برگ به کلروپلاست، افزایش غلظت دی اکسید کربن تغییر قابل ملاحظه‌ای در تولید ماده خشک ایجاد کرد. از طرفی چون با افزایش دی اکسید کربن و درجه حرارت، روزنه‌های گیاه بسته می-شود، لذا میزان ورود دی اکسید کربن و خروج بخار آب کاهش یافت.

نتیجه‌گیری

وجود اختلاف معنی‌دار بین غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن از نظر صفات مورد اندازه‌گیری نشان داد که افزایش غلظت دی اکسید کربن در کنجد منجر به افزایش طول دوره رشد، ازدیاد زیست توده اندام هوایی و ریشه و حصول مطلوب شاخص‌های رشد شد، ولی در گیاه تاج خروس صفات مورد مطالعه کاهش یافت. لذا می‌توان چنین اظهار داشت که گونه‌های سه کربنه از نظر تکاملی در شرایط غلظت بالای دی اکسید کربن و گونه‌های چهار کربنه در شرایط غلظت کمتر تکامل یافته‌اند.

سپاسگزاری

بدون شک انجام این تحقیق بدون حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی (طرح شماره ۵۷) میسر نمی‌گردید، بدین وسیله از همکاری آن معاونت محترم تشکر و قدردانی می‌گردد.



شکل ۱- تأثیر غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن بر میزان (الف) فتوسنتز و (ب) تعرق دو گیاه کنجد و تاج خروس

Fig. 1- Effect of CO_2 concentration on (A) photosynthesis and (B) transpiration rate of two plants (sesame and amaranthus**)**

منابع

1- Aidar, M.P.M., Martinez, C.A., Costa, A.C., Costa, P.M.F., Dietrich, S.M.C., and Buckeridge, M.S. 2002. Effect of atmospheric CO_2 enrichment on the establishment of seedlings of jotoba, *Hymenaea courbaril* L. Biota Neotropica 2: 1-10.

2- Andalo, C.H., Rraquin, C.H., Machon, N., Godelle, B., and Mousseau, M. 1998. Direct and maternal effects of elevated CO_2 on early root growth of germination *Arabidopsis thaliana* seedling. Annals of Botany 81: 405-411.

3- Berntson, G.M., and Bazzaz, F.A. 1996. Belowground positive and negative feedbacks on CO_2 growth enrichment. Plant and Soil 187: 119-131.

4- Booker, F.L., Miller, J.E., Pursley, W.A., and Stefanski, L.A. 2005. Comparative responses of container versus ground- grown soybean to elevated carbon dioxide and ozone. Crop Science 45: 883-895.

5- Burkart, S., Manderscheid, R., and Weigel, H.J. 2004. Interactive effects of elevated atmospheric CO_2 concentrations and plant available soil water content on canopy evapotranspiration and conductance of spring wheat. European Jornal of Agronomy 21: 401-417.

6- Chen, D.X., Hunt, H.W., and Morgan, J.A. 1996. Responses of a C_3 and C_4 perennial grass to CO_2 enrichment and climate change: comparison between model predictions and experimental data. Ecological Modeling 87: 11-27.

7- Cosins,A.B., Adam, N.R., Wall, G.W., Kimball, B.A., PinterJr, P.J., Leavit, S.W., Lamorte, R.L., Matthias, A.D., Ottman, M.J., Thompson, T.L., and Webber, A.N. 2001. Reduced photorespiration and increased energy-use efficiency in young CO_2 enriched sorghum leaves. New Phytologist 150: 275-284.

8- Fritschi, F.B., Boote, K.J., Sollenberger, L.E., Allen, Jr. L.H., and Sinclair, T.R. 1999. Carbon dioxide and temperature effects on forage establishment: photosynthesis and biomass production. Global Change Biology 5: 441-453.
9- Galavi, M. 2004. The effect of soybean cultivars and redroot pigweed (*Amaranthus*) inter and intraspecific competition on physiomorphological characteristics, yield components and canopy stracture. PhD Thesis from Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
10- Ghorbani, R., Rashed Mohassel, M.H., Hosseini, S.A., Mousavi, S.K., and Haj-Mohammadnia Ghalibaf, K. 2009. Sastainable Weed Management. Ferdowi University of Mashhad Publication, Iran 924 pp. (In Persian with English Summary)
11- Griffin, K.L., Bashkin, M.A., Thomas, R.B. and Strain, B.R. 1997. Interactive effects of soil nitrogen and atmospheric carbon dioxide on root/rhizosphere carbon dioxide efflux from loblolly and ponderosa pine seedlings. Plant and Soil 190: 11-18.
12- Idso, S.B., Kimball, B.A., Pettit, G.R., Garner, L.C., Pettit, G.R., and Backhaus, R.A. 2000. Effects of atmospheric CO_2 enrichment on the growth and development of *Hymenocallis littoralis* (Amaryllidaceae) and the concentrations of several antineoplastic and antiviral constituentsof its bulbs. American Journal of Botany 87: 769-773.
13- Kafi, M., Lahootee, M., Zand, E., Shareefee, H.R., and Goldani, M. 2000. Plant Physiology. Jihadeh Daneshgahi Press. 456 pp. (In Persian with English Sumury)
14- Koocheki, A., and Hosseini, M. 2006. Climate Change and Global Crop Prodactivity. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Iran p. 90-93.
15- Koocheki, A., Soltani, A., Sharifi, H.R., and Kamali, G.A. 2001. Effects of climate changing on growth, development and yield of irrigated and rainfed chickpea and sunflower in Tabriz. Jurnal Agriculture Science and Tecnology15: 164-179.
16- Lambers, H., Stulen, I., and Werf, A. 1996. Carbon use in root respiration as affected by elevated atmospheric CO_2. Plant and Soil 187: 251-263.
17- Pritchard, S.G., Prior, S.A., Rogers, H.H., Davis, M.A., Runion, G.B., and Popham, T.W. 2006. Effects of elevated atmospheric CO_2 on root dynamics and productivity of sorghum grown under conventional and conservation agricultural management practices. Agriculture, Ecosystems and Environment 1113: 175-183.
18- Raoofi, M.R. 2008. Evaluation of sowing patterns and weed control on mung bean (*Vigna radiate* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) intercropping system. M.Sc. Thesis from Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Sumury)
19- Read, J.J., and Morgan, J.A. 1996. Growth and partitioning in *Pascopyrum smithii* (C_3) and *Bouteloua gracilis* (C_4) influenced by carbon dioxide and tempreture. Annals of Botany 77: 487-496.
20- Sherwood, K., and Idso, C. 2004. Plant micronutrient concentratins in a CO_2 – enriched world. Available at www. CO_2 science.org/scripts/ CO_2 science B_2c/Subject/n/nutrition.jsp.
21- Sowerby, A., Herbert, B., and Andrew, S. 2005. Elevated atmospheric CO_2 affects the turnover of nitrogen in European grassland. Soil Ecology 28: 37-46.
22- Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggad, K. 2004. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. https://uhra.herts.ac.uk/dspace/handle/2299/3045.
23- Wolf, D.W., Gifford, R.M., Hilbert, D., and Luos, Y. 1998. Integration of photosynthetic acclimation to CO_2 at the whole-plant level. Global Change Biology 4: 879-893.
24- Zavareh, M. 2005.Modeling sesame (*Sesamum indicum* L.) growth and development. PhD Thesis from Faculty of Agriculture, Tehran University, Iran. (In Persian with English Sumury)
25- Ziska, L.H., Teasdale, J.R., and Bunce, J.A. 1999. Future atmospheric carbon dioxide may increase tolerance to glyphosate. Weed Science 47: 608-615.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، ص. ۳۸۲-۳۷۱

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 371-382

بررسی اثر تنش یخ‌زدگی بر میزان نشت الکترولیت‌ها در گیاه دارویی و صنعتی موسیر (*Alliumm altissimum* Regel.) تحت شرایط کنترل شده

شهرام رضوان بیدختی[1*]، احمد نظامی[2]، محمد کافی[3] و حمید رضا خزاعی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۳

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثر تنش یخ زدگی بر نشت الکترولیت‌های سه اکوتیپ موسیر (*Alliumm altissimum* Regel.) (شیروان، کلات و تندوره) در شرایط کنترل شده در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در پاییز سال ۱۳۸۸ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. به منظور ایجاد خوسرمایی، گیاهان در محیط طبیعی رشد یافتند و سپس در دو مرحله سبز شدن و گیاهچه‌ای در فریزر ترموگرادیان در معرض شش دمای یخ زدگی (صفر، ۴-، ۸-، ۱۲-، ۱۶- و ۲۰- درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند. میزان پایداری غشاء سلولی با استفاده از شاخص نشت الکترولیت‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و دمای کشنده برای ۵۰ درصد نمونه‌ها (LT_{50el}) بر اساس آن تعیین گردید. نتایج نشان داد که درصد نشت الکترولیت‌ها و LT_{50el} بطور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. در تمامی اکوتیپ‌های مورد مطالعه با کاهش دما درصد نشت الکترولیت‌ها از برگ، پیاز و ریشه بطور معنی‌داری افزایش یافت. اندام ریشه و برگ در مرحله سبز شدن در تمامی تیمارهای یخ زدگی، به ترتیب بیشترین و کمترین درصد نشت الکترولیت‌ها را نشان دادند. ریشه‌های اکوتیپ شیروان دارای بیشترین درصد نشت الکترولیت‌ها در هر دو مرحله رشدی (مرحله سبز شدن و گیاهچه‌ای) بودند. اندام‌های ریشه و برگ در اکوتیپ شیروان در مقایسه با اکوتیپ‌های کلات و تندوره کمترین تحمل را نسبت به دماهای یخ‌زدگی نشان دادند. اکوتیپ‌های کلات و تندوره کمترین و اکوتیپ شیروان بیشترین مقدار LT_{50el} را نشان دادند. ریشه اکوتیپ شیروان در مرحله گیاهچه‌ای بیشترین میزان LT_{50el} را داشت و حساسیت بیشتری به دماهای یخ زدگی نسبت به اندام برگ و پیاز نشان داد. در بین سه اکوتیپ مورد مطالعه، اکوتیپ‌های کلات و تندوره از کمترین درصد نشت الکترولیت‌ها، کمترین LT_{50el} و بیشترین مقاومت نسبت به تنش یخ زدگی برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: اکوتیپ، دمای کشنده ۵۰ درصد، مرحله رشد

مقدمه

موسیر (*Allium altissimum* Regel.) گیاهی چندساله از خانواده Alliaceae و یکی ازمهم‌ترین گونه‌های دارویی و صنعتی در ایران می‌باشد که بصورت خودرو و طبیعی در مناطق نسبتاً مرتفع بیش از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا با اقلیم خیلی سرد تا نیمه سرد از جمله خراسان، لرستان و دیگر مناطق کشور در شیب‌های مختلف رشد می‌کند (Randle & Lancaster 2002; Ebrahimi et al., 2009). پیاز موسیر مانع از تکثیر سلول‌های سرطانی می شود و در درمان رماتیسم، زخم‌های سطحی، سنگ کلیه، فشار خون، اسهال کاربرد دارد. این گیاه اشتهاآور نیز بوده و در تقویت سیستم گوارش تأثیر دارد. همچنین موسیر به عنوان عطر و طعم‌دهنده در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد (Amin et al., 2001; Block et al., 2001). پیازهای موسیر همزمان با خنک شدن هوا در پاییز شروع به جوانه زنی می‌کنند. با شروع فعالیت رویشی گیاه در پاییز ابتدا ریشه‌های اولیه از پیاز موسیر شروع به رشد می‌کنند، این در حالی است که سرعت رشد اندام‌های هوایی در فصل زمستان بسیار کند می‌باشد. با گرم‌تر شدن هوا در اواخر زمستان و اوایل بهار سرعت رشد اندام‌های هوایی افزایش می‌یابد و رشد برگ افزایش یافته و سپس گل آذین (با توجه به سن و وزن پیاز) ایجاد می‌شود. در نیمه دوم خرداد گیاه به مرحله پایانی زندگی خود رسیده و پیاز موسیر وارد مرحله خواب تابستانه می‌گردد (Kamenetsky, 1996).

در بیش از ۹۱ درصد از اراضی دنیا احتمال وقوع سرما وجود دارد که ۸۱ درصد از این مناطق در معرض یخبندان قرار دارند، همچنین

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه فردوسی مشهد (عضو هیئت علمی گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان)، دانشیار و استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: E-mail: S.Rezvan@damghaniau.ac.ir)

در دو سوم کل زمین‌های دنیا متوسط سالانه حداقل دما کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد است (Kafi et al., 2000; Nilsen & Orcutt, 1996). بنابراین تنش یخزدگی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که تعیین کننده رشد، تولید و همچنین بقاء در بسیاری از گیاهان محسوب می‌شود (Nilsen & Orcutt, 1996).

در مناطق معتدله‌ای نظیر ایران گیاهان در معرض انواع تنش‌های زمستانه به ویژه تنش یخزدگی قرار می‌گیرند. در فرآیند یخ زدگی تشکیل یخ و خسارت‌های ناشی از آن تأثیر مخربی بر رشد گیاه دارند. بطوری که تشکیل بلورهای یخ در اطراف سلول‌های گیاه سبب تخریب غشاء، نشت الکترولیت‌ها و ایجاد لکه‌های نکروزه در گیاه می‌شود (Bagheri et al., 2000).

ارزیابی سریع و مؤثر تحمل گیاهان به تنش یخ زدگی مورد توجه محققان زیادی می‌باشد و پژوهش‌های بسیاری برای یافتن روش‌های ارزیابی سریع و مؤثر انجام شده است تا بتوان مقاومت به سرمای گیاهان را پیش بینی نمود (Anderson & Gesick, 2004). در یکی از این روش‌ها مقدار نشت الکترولیت‌ها از سلول‌های گیاهی پس از اعمال تنش یخزدگی اندازه‌گیری می‌شود (Eugenia et al., 2003). کاهش آماس سلولی و افزایش نشت الکترولیت‌ها از بافت‌های گیاهی به دنبال بروز تنش یخزدگی، نقش غشاء سلولی را در حفاظت گیاه از خسارت تنش سرما به خوبی نشان داده است و در همین خصوص قوی‌ترین تئوری مطرح شده در مورد اثر تنش یخ زدگی، تئوری خسارت غشاء سلولی می‌باشد (Nezami et al., 2009; Mckersie & Leshem, 1994). بر طبق این تئوری سرما باعث تغییر حالت غشاء از فاز مایع به ژل می‌شود که با این تغییر فیزیکی، فعالیت غشاء مختل می‌گردد (Thomashow, 1998; Baek & Skinner, 2003). غشای پلاسمایی اولین مکانی است که در معرض تنش یخزدگی دچار خسارت می‌شود (Uemura et al., 2006). از این رو محققان اظهار داشته‌اند که تداوم انسجام غشاء پلاسما، از جمله عوامل اصلی بقای گیاه در شرایط تنش یخ زدگی است و هر گونه اختلال در ساختار غشاء، سبب بروز خسارت و حتی مرگ آن می‌شود (Mckersie & Leshem, 1994). به همین دلیل اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌ها از بافت‌های گیاهی به عنوان یک روش مناسب برای تخمین تراوایی غشاء و ارزیابی اثر تنش‌های محیطی بر ژنوتیپ‌های مختلف گیاهان مورد استفاده قرار گرفته و دمایی که سبب ۵۰ درصد نشت از سلول‌های گیاهی می‌شود به عنوان دمای ۵۰ درصد کشندگی[1] (LT_{50el}) پیشنهاد شده است (Nezami et al., 2007). با توجه به اینکه پراکنش گیاه موسیر در مناطق اکولوژیکی خاصی می‌باشد که وقوع نوسانات شدید دمایی، کاهش سریع دما و تنش یخ زدگی محتمل است و از طرفی اطلاعات چندانی در مورد تحمل به سرمای این گیاه در دسترس نیست، لذا هدف از این مطالعه بررسی مقاومت و تعیین تحمل به سرما در این گیاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در پاییز سال ۱۳۸۸ بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل آزمایش شامل سه اکوتیپ موسیر (شیروان، کلات و تندوره)، شش تیمار دمایی(۰، ۴-، ۸-، ۱۲-، ۱۶- و ۲۰- درجه سانتی‌گراد)، سه اندام (برگ، پیاز و ریشه) و دو مرحله رشد گیاه (شامل مرحله سبز شدن و گیاهچه‌ای) بودند (شکل ۱).

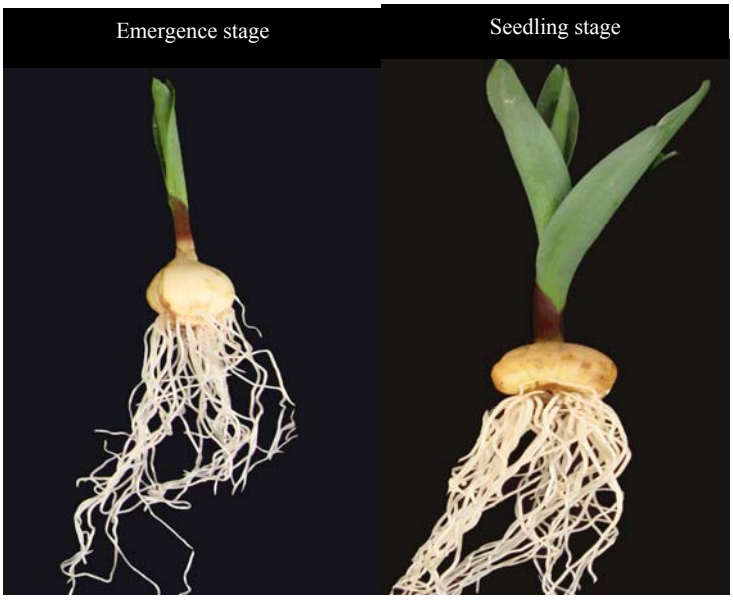
در آذر ماه دو عدد پیاز موسیر (به وزن تقریبی ۱۵-۱۲ گرم) در گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۲۵ سانتیمتر و ارتفاع ۲۳ سانتی متر در عمق هشت سانتی‌متری کشت شدند. خاک گلدان‌ها حاوی نسبت مساوی از شن، خاک برگ و خاک مزرعه بود. به منظور ایجاد خوسرمایی گیاهان در محیط طبیعی قرار داده شدند. سپس برای اعمال دماهای یخ زدگی، گیاهان در اواسط اسفند به فریزر ترموگرادیان منتقل شدند. در شروع آزمایش جهت ایجاد یکنواختی دمای فریزر به مدت ۱۰ ساعت ۵ درجه سانتی‌گراد بود و پس از قرار دادن نمونه‌ها با سرعت ۲- درجهٔ سانتی‌گراد در ساعت کاهش یافت. به منظور جلوگیری از پدیده فراسرما و ایجاد هستک یخ در گیاهچه‌ها، در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد بر روی گیاهان، محلول باکتری‌های ایجاد کننده هستک یخ[2] به نحوی پاشیده شد که قشر نازکی از این محلول روی اندام هوایی گیاه را پوشاند. به منظور ایجاد تعادل در دمای محیط آزمایش، گیاهان در هر تیمار دمایی، به مدت یک ساعت نگه داشته و سپس از فریزر خارج شدند. به منظور کاهش سرعت ذوب، گلدان‌ها بلافاصله به اتاقک سرد با دمای ۱±۴ درجهٔ سانتی‌گراد منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در آن نگهداری شدند.

سپس به منظور تعیین درصد نشت الکترولیت‌ها گیاهچه های مربوط به هر تیمار از گلدان‌ها خارج شده و با آب مقطر شسته شده و سپس گیاهچه‌ها به سه قسمت برگ، پیاز و ریشه تفکیک و مجدداً توسط آب مقطر شسته شده و بطور جداگانه درون ظرف شیشه ای حاوی ۷۵ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده قرار گرفتند. ویال‌ها به مدت شش ساعت بر روی شیکر قرار گرفته و سپس هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه EC متر مدل جنوی[3] اندازه‌گیری شد (EC1).

1- Lethal temperature 50 according to electrolyte leakage

2- Ice nucleation active bacteria

3- Genway



شکل ۱- مرحله سبز شدن و گیاهچه‌ای گیاه موسیر
Fig. 1- Emergence and seedling stages of Mooseer

برای اندازه‌گیری نشت کامل الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول، ویال‌ها در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ بار به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفتند و پس از ۲۴ ساعت هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (EC2). با استفاده از فرمول ۱۰۰ ×(EC1/ EC2)، درصد نشت الکترولیت‌های هر تیمار محاسبه گردید. درجه حرارت کشنده برای ۵۰ درصد نمونه‌ها بر اساس نشت الکترلیت‌ها ($LT50_{el}$) مطابق با روش اندرسون (Anderson, 1988) تعیین گردید (معادله ۱).

معادله (۱) $EL_p=EL_i + \{(EL_m - EL_i) /(1+e^{-B(T - Tm)})\}$

که در این معادله، EL_p: مقدار نشت الکترولیت پیش‌بینی شده، EL_i: حداقل مقدار نشت الکترولیت‌ها در دماهای مختلف، EL_m: حداکثر مقدار نشت الکترولیت‌ها در دماهای مختلف، B: سرعت افزایش شیب منحنی، T: دما، T_m نقطه عطف منحنی که عبارت است از نقطه میانی بین بخش پایینی و بالایی خط منحنی و نشان‌دهنده خروج ۵۰ درصد الکترولیت از سلول می‌باشد.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار Minitab صورت گرفت. برای رسم نمودارها و تعیین LT_{50} از نرم افزارهای Sigma Plot و Slide Write استفاده شد. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

درصد نشت الکترولیت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از نظر درصد نشت الکترولیت‌ها تفاوت معنی‌داری ($p\leq$ ۰/۰۱) بین اکوتیپ‌های موسیر و دماهای اعمال شده وجود دارد (جدول ۱). بیشترین درصد نشت الکترولیت در اکوتیپ شیروان مشاهده شد و اکوتیپ‌های کلات و تندوره بدون تفاوت معنی‌داری کمترین درصد نشت را به خود اختصاص دادند (شکل ۲-الف). بررسی محققین دیگر روی کلزا (*Brassica napus* L.) نیز بیانگر وجود تفاوت‌های ژنوتیپی از نظر میزان نشت الکترولیت‌ها در شرایط تنش یخزدگی می‌باشد (Nezami et al., 2007).

با کاهش دما نیز میزان نشت الکترولیت ها افزایش یافت بطوریکه در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد به حداکثر مقدار خود رسید (شکل ۲-ج). افزایش میزان نشت مواد با کاهش دما حاکی از آن است که در نتیجه اعمال یخزدگی، انسجام و فعالیت غشاء سلولی مختل شده و در نتیجه آن نشت مواد از درون سلول‌ها اتفاق افتاده است. این امر در مطالعات سایر پژوهشگران نیز مشاهده شده است (Nezami et al., 2007; Nayyar et al., 2005). تأثیر تنش سرما بر اختلال فعالیت غشاهای سلولی و به دنبال آن نشت الکترولیت‌ها بسته به تحمل به یخزدگی ارقام گیاهی متفاوت است (Cardona et al., 1997)، از اینرو، پایین‌تر بودن میزان نشت الکترولیت‌ها در اکوتیپ کلات و تندوره احتمالاً نشان‌دهنده تحمل بیشتر این اکوتیپ‌ها نسبت به تنش یخزدگی می‌باشد.

در بین اندام‌های مختلف موسیر نیز تفاوت معنی‌داری از نظر نشت الکترولیت‌ها وجود داشت و بیشترین درصد نشت الکترولیت‌ها

در ریشه و کمترین آن در پیاز موسیر مشاهده شد (شکل ۲–ب) این وضعیت احتمالاً بیانگر حساسیت بیشتر غشاء سلول‌های ریشه در برابر تنش یخ زدگی در مقایسه با سایر اندام‌های مورد مطالعه می‌باشد. وانر و جونتیلا (Waner & Junttila, 1999) بیان نمودند که تحمل به یخزدگی در اندام‌های مختلف گیاه و حتی بافت‌های مختلف یک اندام نیز متفاوت بود. ایشان اظهار داشتند که رگبرگ‌های اصلی و دمبرگ‌ها نسبت به سایر بافت‌های برگ به تنش یخ زدگی حساس‌تر بودند و اغلب بعد از تیمار یخ زدگی مجدداً قادر به ایجاد آماس سلولی نبوده و زرد یا قهوه‌ای شدند. ریشه‌ها و کوتیلدون‌ها نیز تحمل کمتری به یخزدگی داشتند و بعد از قرار گرفتن در دمای مناسب، قادر به جبران اثر تنش یخ زدگی نبودند. همچنین لارچر و بائور (Larcher & Bauer, 1981) بیان نمودند که اندام‌های ریشه و ریزوم در گیاهان، دارای حساسیت بیشتری نسبت به تنش یخزدگی می‌باشند، بطوریکه در زمستان حتی در دمای ۵– درجه سانتی‌گراد نیز ممکن است تحت تأثیر تنش یخزدگی دچار خسارت شوند.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) درصد نشت الکترولیت‌ها از اندام‌های مختلف اکوتیپ‌های گیاه موسیر در دو مرحله رشدی تحت تأثیر دماهای یخزدگی در شرایط کنترل شده

Table 1- Analysis of variance (mean of squares) for electrolyte leakage percentage from different organs in Mooseers' ecotypes at two growth stages affected by freezing temperatures in controlled conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	نشت الکترولیت‌ها Electrolyte leakage
تکرار Replication	2	6.9
اکوتیپ Ecotype	2	390.1**
دما Temperature	5	16019.8**
اکوتیپ × دما Ecotype×Temperature	10	152.4**
اندام Organ	2	2386.7**
اکوتیپ × اندام Ecotype×Organ	4	374.7**
دما × اندام Temperature×Organ	10	195.4**
اکوتیپ × دما × اندام Ecotype× Temperature×Organ	20	56.8**
مرحله رشد Growth stage	1	26.2ns
اکوتیپ × مرحله رشد Ecotype× Growth stage	2	181.3**
دما × مرحله رشد Temperature× Growth stage	5	267.7**
اکوتیپ × دما × مرحله رشد Ecotype× Temperature× Growth stage	10	93.6**
اندام × مرحله رشد Organ×Growth stage	2	514.4**
اکوتیپ × اندام × مرحله رشد Ecotype×Organ×Growth stage	4	90.4**
دما × اندام × مرحله رشد Temperature×Organ× Growth stage	10	189.6**
اکوتیپ × دما × اندام × مرحله رشد Ecotype× Temperature × Organ×Growth stage	20	81.5**
خطا Error	214	13.2
کل Total	323	-

ns و ** : به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

Ns and **: non- significant and significant at the 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل اکوتیپ و دما بر درصد نشت الکترولیت‌ها از اندام‌های مختلف اکوتیپ‌های گیاه موسیر تحت تأثیر دماهای یخزدگی در شرایط کنترل شده

Table 2- Mean comparisons of interaction between ecotype and temperature on electrolyte leakage percentage from different organs in Mooseers' ecotypes affected by freezing temperatures in controlled conditions

اکوتیپ Ecotype	دما Temperature	نشت الکترولیت‌ها (٪) Electrolyte leakage (%)		
		برگ Leaf	پیاز Bulb	ریشه Root
شیروان Shirvan	0	6	10	11
	-4	7	10	20
	-8	9	11	23
	-12	10	16	35
	-16	37	21	42
	-20	55	51	77
کلات Kalat	0	7	8	10
	-4	9	12	16
	-8	10	13	18
	-12	15	15	20
	-16	22	20	28
	-20	50	52	63
تندوره Tandoureh	0	8	8	10
	-4	11	9	14
	-8	13	14	21
	-12	15	16	22
	-16	36	22	29
	-20	45	51	52
LSD (0.01)= 5.44*				

* میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمونLSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly different at α =0.05 by LSD test.

اثر متقابل اکوتیپ، دما و اندام بر درصد نشت الکترولیت معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود (جدول ۱). بیشترین درصد نشت الکترولیت مربوط به ریشه‌های اکوتیپ شیروان در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد بود و کمترین میزان نشت در دمای صفر درجه سانتی‌گراد مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری بین اکوتیپ‌ها و اندام‌ها در این دما مشاهده نشد (جدول ۲). درصد نشت الکترولیت‌ها از برگ و پیاز اکوتیپ‌های مورد مطالعه با کاهش دما از صفر به ۸- درجه سانتی‌گراد افزایش معنی‌داری نشان نداد، این در حالی است که با کاهش دما از صفر به ۸- درجه سانتی‌گراد در ریشه اکوتیپ‌های شیروان، کلات و تندوره درصد نشت الکترولیت‌ها بطور معنی‌داری افزایش یافت. به نظر می رسد که اندام ریشه با کاهش جزئی دما به تیمارهای یخ زدگی واکنش نشان می‌دهد. در اکوتیپ‌های کلات و شیروان کاهش دما از صفر به ۴- درجه سانتی‌گراد تأثیر معنی‌داری بر درصد نشت الکترولیت‌ها از ریشه داشت، در حالیکه در اکوتیپ تندوره اختلاف معنی‌داری در دماهای مذکور مشاهده نشد که نشان‌دهنده تحمل بیشتر ریشه اکوتیپ تندوره در این محدوده دمایی در مقایسه با اکوتیپ شیروان و کلات می‌باشد (جدول ۲). افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها از ریشه در اکوتیپ شیروان در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای صفر درجه سانتی‌گراد حدود ۶۵/۹ درصد بود، در حالی که در اکوتیپ کلات و تندوره در دمای مذکور به ترتیب ۵۳/۱ و۴۲ درصد افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها نسبت به دمای صفر درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. درصد نشت الکترولیت‌ها از برگ در اکوتیپ شیروان در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای صفر درجه سانتی‌گراد حدود ۴۸/۴ درصد افزایش یافت، در حالی که در اکوتیپ کلات و تندوره در دمای مذکور به ترتیب ۴۲/۲ و۳۷/۲ درصد افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها نسبت به به دمای صفر درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. به نظر می‌رسد که در اکوتیپ شیروان در مقایسه با اکوتیپ‌های کلات و تندوره اندام ریشه و برگ ازحساسیت بیشتری نسبت به دماهای یخ زدگی برخوردار می‌باشند، همچنین در اندام ریشه افزایش درصد نشت الکترولیت با تغییر دما از صفر درجه سانتی‌گراد به دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد بیشتر از اندام برگ و پیاز بود (جدول ۲).

اثرات متقابل دما و مرحله رشدی بر درصد نشت الکترولیت‌ها در اندام‌های مختلف موسیر نشان داد که اندام ریشه و برگ در مرحله سبز شدن در تمامی تیمارهای یخزدگی، به ترتیب بیشترین و کمترین درصد نشت الکترولیت را نشان دادند (جدول ۳). افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها از برگ‌ها در مرحله سبز شدن در دمای ۲۰- درجه

سانتی‌گراد نسبت به دمای صفر درجه سانتی گراد ۴۱/۹ درصد بود، در حالی که در مرحله گیاهچه‌ای در دمای مذکور ۵۱ درصد افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها نسبت به دمای صفر درجه سانتی‌گراد مشاهده شد همچنین افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها از ریشه‌ها در مرحله سبز شدن و گیاهچه‌ای در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای صفر درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۶۱/۴ و ۴۵/۸ درصد می‌باشد که در افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها از ریشه در مرحله گیاهچه‌ای در مقایسه با اندام برگ در همین مرحله کاهش مشاهده می‌شود، این در حالی است که در مرحله سبز شدن افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها از اندام برگ کمتر از ریشه می‌باشد. با توجه به نتایج فوق چنین به نظر می‌رسد که اندام‌های گیاه موسیر در مراحل مختلف رشد، حساسیت و تحمل متفاوتی به دماهای یخزدگی از خود نشان می‌دهند (جدول ۳).

در بین اکوتیپ و اندام‌های مورد مطالعه با وجود اینکه ریشه‌های اکوتیپ شیروان دارای بیشترین درصد نشت الکترولیت در هر دو مرحله رشد (مرحله سبز شدن و گیاهچه‌ای) بودند و تفاوت معنی داری بین این دو مرحله رشدی از این نظر مشاهده نشد، ولی در اکوتیپ‌های کلات و تندوره درصد نشت الکترولیت‌ها از ریشه در مرحله سبز شدن بطور معنی‌داری بیشتر از مرحله گیاهچه‌ای بود. نتایج متفاوتی در برگ‌های موسیر در اکوتیپ‌های شیروان و تندوره مشاهده شد، بطوریکه درصد نشت الکترولیت‌ها در مرحله گیاهچه‌ای در اکوتیپ های فوق بطور معنی‌داری بیشتر از مرحله سبز شدن بود (جدول ۴). مراحل مختلف رشدی تأثیر معنی‌داری بر درصد نشت الکترولیت‌ها از پیازهای موسیر در اکوتیپ‌های شیروان و تندوره نداشت، این در حالی است که در اکوتیپ کلات درصد نشت الکترولیت پیاز در مرحله گیاهچه‌ای بیشتر از مرحله سبز شدن می‌باشد. به نظر می‌رسد که حساسیت به یخزدگی پیازهای موسیر در اکوتیپ‌های شیروان و تندوره در مراحل مختلف رشدی کمتر تحت تأثیر دماهای یخ قرار می‌گیرند (جدول ۴).

بررسی اثر تنش سرما بر درصد نشت الکترولیت‌ها از اندام اکوتیپ‌های موسیر (برگ، پیاز و ریشه) در مراحل مختلف رشدی نشان داد که با کاهش دما نشت الکترولیت در هر سه اکوتیپ افزایش یافت (شکل ۳). با وجود این در بررسی منحنی نشت الکترولیت‌ها از اندام‌های مختلف موسیر مشاهده شد که در برگ‌های دو اکوتیپ شیروان و تندوره با کاهش دما میزان نشت الکترولیت‌ها در مرحله گیاهچه‌ای بیشتر از مرحله سبز شدن افزایش یافته است، این در حالی است که میزان نشت مواد در پیاز و ریشه‌های موسیر در اثر تنش سرما در مرحله سبز شدن بیشتر از مرحله گیاهچه‌ای می‌باشد (شکل ۳). به نظر می‌رسد که ریشه و پیاز موسیر با گذشت زمان و به دلیل فعال شدن بخش فتوسنتزی و انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به سمت اندام‌های زیرزمینی تحمل بیشتری را نسبت به تنش سرما از خود نشان می‌دهند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل دما و مرحله رشدی بر درصد نشت الکترولیت‌ها از اندام‌های مختلف گیاه موسیر تحت تأثیر دماهای یخزدگی در شرایط کنترل شده

Table 3- Mean comparisons of interaction between temperature and growth stage on electrolyte leakage percentage from different organs in Mooseers' ecotypes affected by freezing temperatures in controlled conditions

مرحله رشد Growth stage	دما Temperature	نشت الکترولیت‌ها (٪) Electrolyte leakage (%)		
		برگ Leaf	پیاز Bulb	ریشه Root
سبز شدن Emergence	0	8	10	10
	-4	10	12	20
	-8	12	14	26
	-12	14	16	26
	-16	24	21	29
	-20	50	53	71
گیاهچه ای Seedling	0	7	7	11
	-4	9	10	14
	-8	9	11	15
	-12	13	15	25
	-16	39	22	36
	-20	58	50	57
LSD (0.01)= 4.44*				

* میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمونLSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly different at α =0.05 by LSD test.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل اکوتیپ و مرحله رشدی بر درصد نشت الکترولیت‌ها از اندام‌های مختلف گیاه موسیر تحت تأثیر دماهای یخ-زدگی در شرایط کنترل شده

Table 4- Mean comparisons of interaction between ecotype and growth stage on electrolyte leakage percentage from different organs in Mooseers' ecotypes affected by freezing temperatures in controlled conditions

اکوتیپ Ecotype	مرحله رشد Growth stage	نشت الکترولیت‌ها (٪) Electrolyte leakage (%)		
		برگ Leaf	پیاز Bulb	ریشه Root
شیروان Shirvan	سبز شدن Emergence	19	20	34
	گیاهچه ای Seedling	23	20	34
کلات Kalat	سبز شدن Emergence	19	22	29
	گیاهچه ای Seedling	19	18	22
تندوره Tandoureh	سبز شدن Emergence	17	21	28
	گیاهچه ای Seedling	26	19	21
LSD (0.01)= 3.14*				

* میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمونLSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly different at α =0.05 by LSD test.

دمای کشنده برای ۵۰ درصد نمونه‌ها ($LT50_{el}$)

از نظر $LT50_{el}$ بین اکوتیپ‌های موسیر، اندام‌های متفاوت آن و مراحل مختلف رشدی آن تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۵). بطوریکه اکوتیپ‌های تندوره و کلات کمترین (متحمل‌ترین اکوتیپ‌ها به دماهای یخ زدگی) و اکوتیپ شیروان بیشترین مقدار $LT50_{el}$ (حساسترین اکوتیپ به دماهای یخزدگی) را داشتند (شکل۴-الف). در مقایسه اندام‌های مختلف نیز اندام ریشه بیشترین میزان $LT50_{el}$ را داشت و حساسیت بیشتری به دماهای یخزدگی نسبت به دو اندام دیگر نشان داد (شکل۴-ب). نتایج حاصل از اثر متقابل اکوتیپ، اندام و مراحل مختلف رشد موسیر بر دمای ۵۰ درصد کشندگی نشان داد که ریشه‌های اکوتیپ شیروان در مرحله گیاهچه‌ای بیشترین میزان $LT50_{el}$ (کمترین تحمل به دماهای یخزدگی) را داشتند، این درحالی است که در اکوتیپ مذکور نیز ریشه‌ها دارای بیشترین درصد نشت الکترولیت بودند (جدول ۶). کمترین میزان $LT50_{el}$ نیز مربوط به برگ‌های اکوتیپ تندوره و کلات در مرحله سبز شدن بود که دارای کمترین درصد نشت الکترولیت نیز بودند (جدول ۶).

برخی از محققین دمایی را که سبب ۵۰ درصد نشت الکترولیت‌ها از بافت‌های گیاهی می‌شود به عنوان دمای ۵۰ درصد کشندگی ($LT50_{el}$) پیشنهاد کرده‌اند (Nezami et al., 2009; Cardona et al., 1997). در همین رابطه شاشیکومار و نیوس (Shashikumar & Nus, 1993) با انجام آزمایشی بر روی هشت رقم پنجه مرغی (*Cynodon dactylon* L.) گزارش کردند که ارقام مقاوم به سرما $LT50_{el}$ کمتری نسبت به ارقام حساس داشتند. اندرسون و همکاران (Anderson et al., 1993) نیز با بررسی $LT50_{el}$ و همچنین رشد مجدد در ارقام مختلف برمودا گراس (*Cynodon dactylon* L.) به این نتیجه رسیدند که بین ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری از این نظر وجود دارد و $LT50_{el}$ ارقام مورد مطالعه بین دماهای ۷- تا ۱۱- درجه سانتی‌گراد متغیر بود.

نتیجه‌گیری

تخمین خسارت ناشی از تنش سرما با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری نشت الکترولیت می‌تواند معیارهای نسبتاً قابل قبولی را فراهم سازد، با این وجود نشت الکترولیت‌ها الزاماً نشان‌دهنده خسارت غیرقابل برگشت به سلول‌ها نیست و به همین جهت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و تعیین درجه حرارت کشنده بر اساس صفت مذکور می‌تواند برای ارزیابی مراحل ابتدائی خسارت ناشی از یخزدگی مفید باشد (Palta, 1994). نتایج این بررسی نشان داد که در اکوتیپ‌های موسیر مورد مطالعه با کاهش دمای یخ زدگی، درصد نشت الکترولیت-ها از سلول‌های برگ، پیاز و ریشه بطور معنی‌داری افزایش یافت و بین اکوتیپ‌های مورد مطالعه از این نظر تفاوت معنی‌دار وجود داشت.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) دمای کشنده ۵۰ درصد نمونه‌ها بر اساس نشت الکترولیت‌ها ($LT50_{el}$) اندام‌های مختلف اکوتیپ‌های گیاه موسیر در دو مرحله رشدی تحت تأثیر دماهای یخزدگی در شرایط کنترل شده

Table 5- Analysis of variance (mean of squares) lethal temperature of 50% samples based on electrolyte leakage ($LT50_{el}$) from different organs in Mooseers' ecotypes in two growth stages affected by freezing temperatures in controlled conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	دمای کشنده ۵۰ درصد نمونه‌ها (٪) $LT50_{el}$ percentage
تکرار Replication	2	0.3
اکوتیپ Ecotype	2	18.6**
اندام Organ	2	7.9**
اکوتیپ × اندام Ecotype×Organ	4	4.7*
مرحله رشد Growth stage	1	31.2**
اکوتیپ × مرحله رشد Ecotype×Growth stage	2	10.9**
اندام × مرحله رشد Organ×Growth stage	2	28**
اکوتیپ × اندام × مرحله رشد Ecotype×Organ×Growth stage	4	14.5**
خطا Error	34	1.6
کل Total	53	-

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** is significant at 1% probability level.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل اکوتیپ و مرحله رشدی بر دمای کشنده ۵۰ درصد نمونه‌ها بر اساس نشت الکترولیت‌ها ($LT50_{el}$) در اندام-های مختلف اکوتیپ‌های گیاه موسیر تحت تأثیر دماهای یخزدگی در شرایط کنترل شده

Table 6- Mean comparisons of interaction effects of ecotype and growth stage on lethal temperature of 50% samples based on electrolyte leakage ($LT50_{el}$) from different organs in Mooseers' ecotypes affected by freezing temperatures in controlled conditions

		دمای کشنده ۵۰ درصد نمونه‌ها lethal temperature of 50% samples		
اکوتیپ Ecotype	مرحله رشد Growth stage	برگ Leaf	پیاز Bulb	ریشه Root
شیروان Shirvan	سبز شدن Emergence	-19	-19	-18
	گیاهچه ای Seedling	-17	-20	-15
کلات Kalat	سبز شدن Emergence	-20	-19	-19
	گیاهچه ای Seedling	-19	-20	-20
تندوره Tandoureh	سبز شدن Emergence	-20	-20	-19
	گیاهچه ای Seedling	-15	-20	-20
LSD (0.01)= 2.84*				

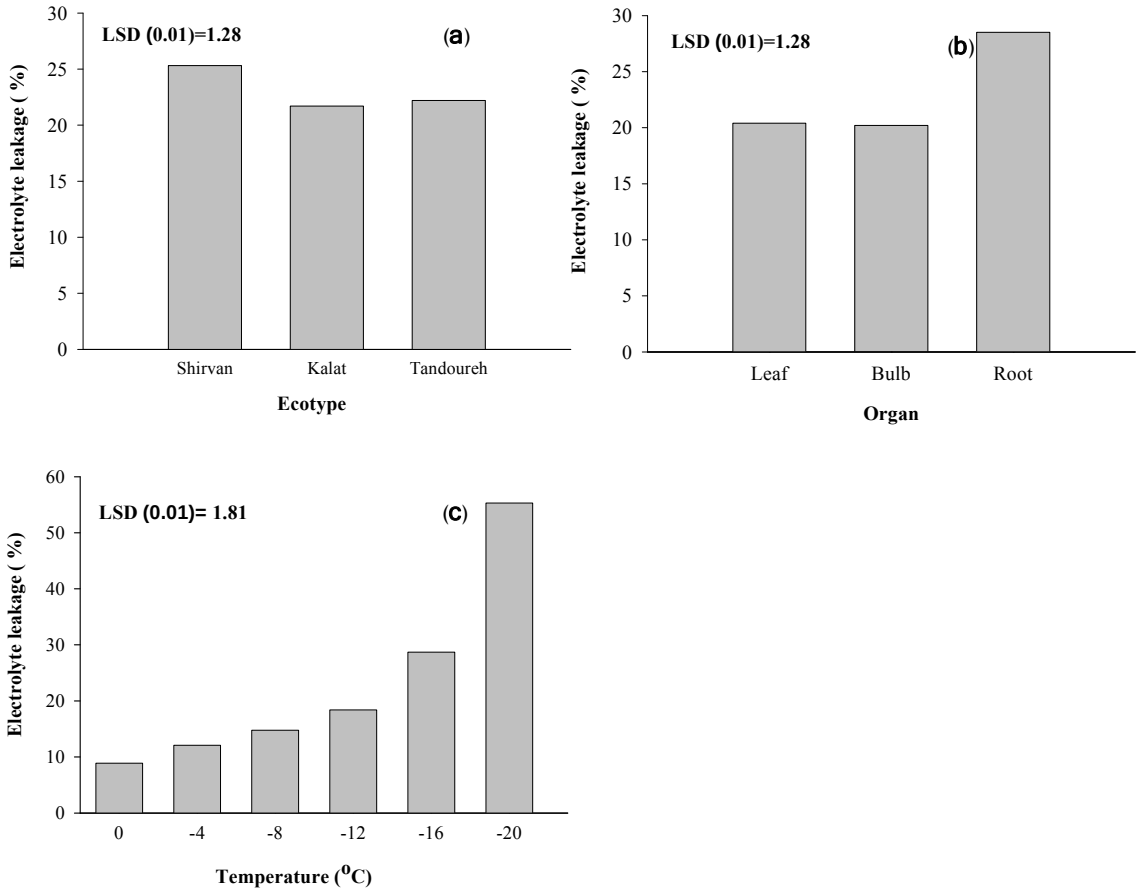
* میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمونLSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly different at α =0.05 by LSD test.

*: پایین‌ترین دمای ارزیابی شده در آزمایش ۲۰- درجه سانتی‌گراد بود.

*: The lowest evaluated temperature in experiment was -20ºC.

در بین اکوتیپ و اندام‌های مورد مطالعه انـدام ریشـه در اکوتیـپ شیروان در مرحلـه سـبز شـدن بیشـترین درصـد نشـت الکترولیـت و حساسیت را نسبت به کاهش دما نشان دادند، بطوریکه افزایش درصد نشت الکترولیت ریشه در اکوتیپ شیروان در دمای ۲۰- درجه سانتی-گراد حدود ۶۵/۹ درصد نسبت به دمای صفر درجه سانتی‌گراد بود، در حالی که در اکوتیپ کلات و تندوره در دمای مذکور بـه ترتیـب ۵۳/۱ و۴۲ درصد افزایش درصد نشت الکترولیت نسبت به به دمـای صـفر درجه سانتی‌گراد مشـاهده شـد. در بـین سـه اکوتیـپ مـورد مطالعـه، اکوتیپ شیروان از بالاترین درصد نشت الکترولیت و بالاترین LT_{50} و بیشترین حساسیت نسبت به تنش یخزدگی برخوردار بـود، در حالیکـه اکوتیپ‌های کلات و تندوره تحمل بیشتری را نسبت به تنش یخزدگی از خود نشان دادند.

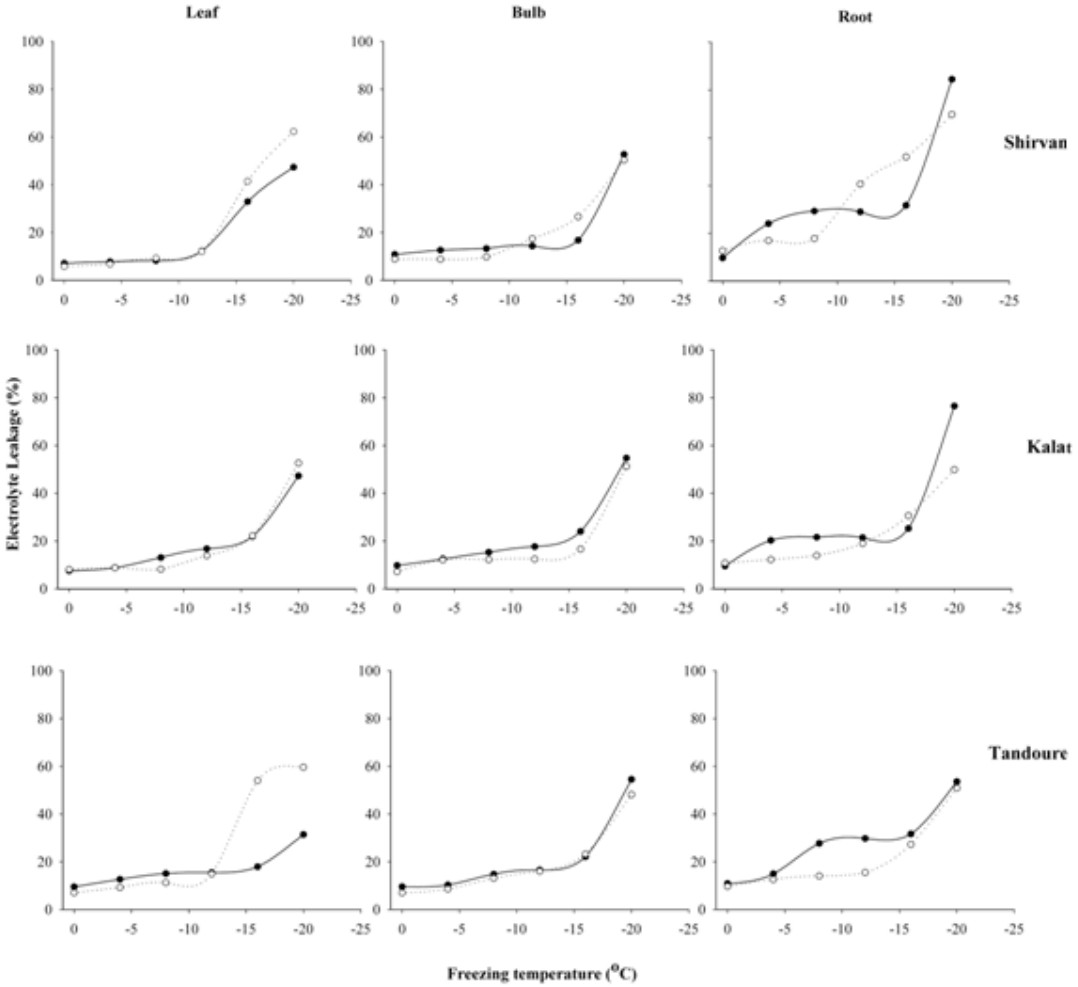


شکل ۲- درصد نشت الکترولیت‌ها از گیاه موسیر تحت تأثیر دماهای یخ زدگی در شرایط کنترل شده در اکوتیپ‌ها (a)، اندام گیاهی (b) و دما (c)

Fig. 2- Electrolyte leakage percentage from Mooseers' affected by freezing temperatures in controlled conditions in ecotypes (a), plant organ (b) and temperature (c)

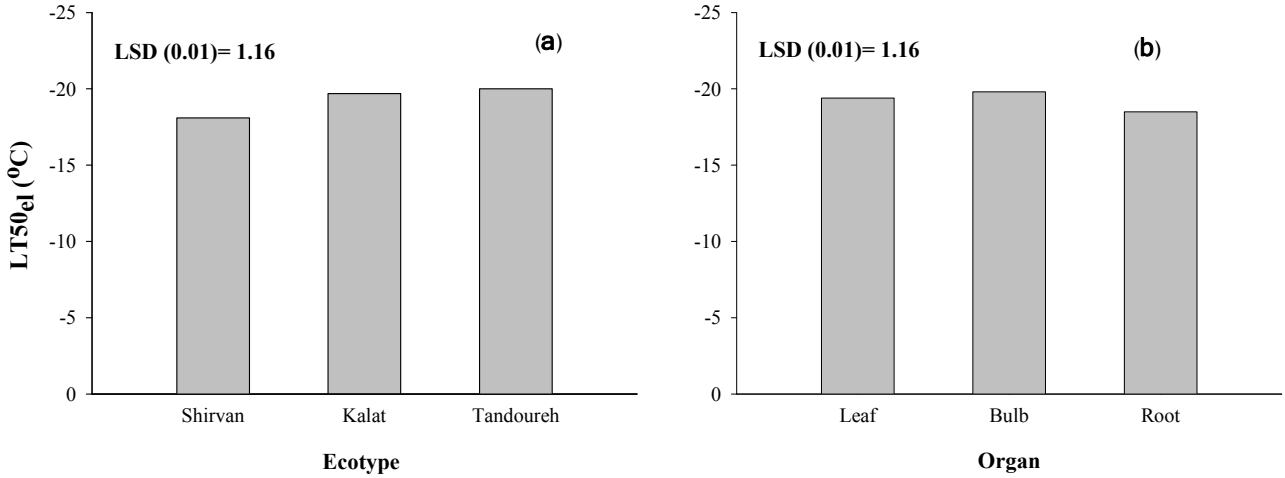
میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمونLSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly different at α =0.05 by LSD test.



شکل ۳- درصد نشت الکترولیت‌ها از اندام‌های مختلف اکوتیپ‌های موسیر در مراحل سبز شدن (●) و گیاهچه‌ای (○) تحت تأثیر دماهای یخزدگی در شرایط کنترل شده

Fig. 3- Electrolyte leakage percentage from different organs in Mooseers' ecotypes in emergence and seedling stages affected by freezing temperatures in controlled conditions



شکل ٤- مقایسه میانگین دمای کشنده ۵۰ درصد نمونه‌ها بر اساس نشت الکترولیت‌ها ($LT50_{el}$) در اکوتیپ‌ها (a) و اندام‌های مختلف (b) موسیر تحت تأثیر دماهای یخزدگی در شرایط کنترل شده

Fig. 4- Comparison of mean for lethal temperature of 50% samples based on electrolyte leakage ($LT50_{el}$) in ecotypes (a) and different organ (b) in Mooseers' affected by freezing temperatures in controlled conditions

میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمونLSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly different at α =0.05 by LSD test.

منابع

1- Amin, M., Koushapoor, H., and Polzadeh, M. 2001. The effect of Mooseer's liquid extract on infection of *Pesodomonas aierozhinoza* subsequent to burn in mouse . In: Proceeding of the 4th Conference of Microbiology, Shahed University, Tehran, Iran p. 195-216. (In Persian)

2- Anderson, N.O., and Gesick, E. 2004. Phenotypic markers for selection of winter hardy garden chrysanthemums (*Dendranthema grandiflora* Tzvelv). Scientia Horticulturae 101: 153–167.

3- Anderson, J.A., Michael, P., and Taliaferro, C.M. 1988. Cold hardiness of Midiron and Tifgreen. Horticulture Science 23: 748-750.

4- Anderson, J.A., Taliaferro, C.M., and Martin, D.L. 1993. Evaluating freeze tolerance of bermudagrass in a controlled environment. Horticulture Science 28: 955.

5- Baek, K.H., and Skinner, D.Z. 2003. Alteration of antioxidant enzyme gene expression during cold acclimation of near-isogenic wheat lines. Plant Science 165: 1221-1227.

6- Bagheri, A., Nezami, A., and Soltani, M. 2000. The breeding of pulse for stress tolerance. Ministry of Agriculture.

7- Block, E., Birringer, M., Jiang, W., Nakahodo, T., Thompson, H.J., Toscano, P.J., Uzar, H., Zhang, X., and Zhu, Z. 2001. *Allium* chemistry: synthesis, natural occurrence, biological activity and chemistry of se-alk (en) ylselenocysteines and their g-glutamyl derivatives and oxidation products. Journal of Agriculture Food Chemistry 49: 458-470.

8- Cardona, C.A., Duncan, R.R., and Lindstrom, O. 1997. Low temperature tolerance assessment in paspalm. Crop Science 37: 1283-1291.

9- Ebrahimi, R., Zmani, Z., and Kashi, A. 2009. Genetic diversity evaluation of wild Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss) using morphological and RAPD markers. Scientia Horticulture 119: 345-351

10- Eugenia, M., Nunes, S., and Ray, S.G. 2003. Electrolyte leakage assay capable of quantifying freezing resistance in rose clover. Crop Science 43: 1349–1357.

11- Kafi, M., Ganjali, A., Nezami, A., and Shariatmadar, F. 2000. Weather and Crop yield. Jehad-Daneshgahi Press, Iran 311 pp.

12- Kamenetsky, R. 1996. Life cycle and morphological features of *Allium* L. species in connection with geographical distribution. Bocconea 5: 251-257.

13- Lang, D.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B., and Ziegher, H. 1981. Physiological Plant Ecology. In: Larcher, W. and Bauer, H. (ed). Ecological significant of resistance to low temperature. 13rd edn. Springer-verlag. Berlon. pp: 406-407.
14- Mckersie, B.D., and Leshem, Y.Y. 1994. Stress and Stress Coping in Cultivated Plants. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
15- Nezami, A., Bagheri, A., Rahimiyan, H., Kafi, M., and Nassiri Mahalati, M. 2006. The evaluation of freezing tolerance in chickpea genotypes. Science and Techniques of Agriculture and Natural Resources 10: 257-269.
16- Nezami, A., Borzooei, A., Jahani, M., Azizi, M., and Moosavi, J. 2009. Evaluation of cold tolerance in colza (*Brassica napus* L.) cultivars under controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 7: 711-722. (In Persian with English Summary)
17- Nezami, A., Borzooei, A., Jahani, M., Azizi, M., and Sharif, A. 2007. Electrolyte leakage as an indicator of freezing injury in colza (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 1: 167-175. (In Persian with English Summary)
18- Nayyar, H., Bains, T.S., and Kumar, S. 2005. Chilling stressed chickpea seedling: effect of cold acclimation, calcium and abscisic acid on cryoprotective solutes and oxidative damage. Environmental and Experimental Botany 54: 275-285.
19- Nilsen, E.T., and Orcutt, D.M. 1996. Physiology of Plants under Stress (Abiotic Factors). John Willey and Sons. New York 683 pp.
20- Palta, J.A., Kobata, T., Turner, N.C., and Fillery, I.R. 1994. Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficits. Crop Science 34: 118-124.
21- Randle, W.M., and Lancaster, J.E. 2002. Sulphur compounds in alliums in relation to flavor quality. p. 329-356. In: Rabinowitch, H.D., and Currah, L. (Eds.). *Allium* crop science: recent advances. CAB Int., Wallingford, U.K.
22- Shashikumar, K., and Nus, J.L. 1993. Cultivar and winter cover effects on Bermuda grass cold acclimation and crown moisture content. Crop Science 33: 813-817
23- Thomashow, M.F. 1998. Role of cold-responsive genes in plant freezing tolerance. Plant Physiology 118: 1-8.
24- Uemura, M., Tominaga, Y., Nakagawara, C., Shigematsu, S., Minami, A., and Kawamura, Y. 2006. Responses of plasma membrane to low temperature. Physiologia Plantarum 126: 81-89.
25- Waner, L.A., and Junttila, O. 1999. Cold-induced freezing tolerance in *Arobidopsis*. Plant Physiology 120: 391-399.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، ص. ۳۹۵-۳۸۳

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 383-395

اثر تنش خشکی و مصرف انواع کود آلی و معدنی و بقایای آنها بر عملکرد و اجزای عملکرد بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.)

احمد احمدیان[۱]*، احمد قنبری[۲] و براتعلی سیاه‌سر[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۳

چکیده

مدیریت مصرف انواع کودهای شیمیایی و آلی و بقایای آنها در خاک از لحاظ تأثیرات زیست محیطی و عملکرد گیاهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک نظیر ایران حائز اهمیت می‌باشد. به منظور بررسی اثرات تنش خشکی و مصرف انواع کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست و بقایای آنها بر میزان رشد، عملکرد گل، عملکرد اسانس، عملکرد کامازولن و اجزای عملکرد گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.)، این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل در دو سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ و ۸۸-۱۳۸۷ اجرا گردید. تیمارهای خشکی بصورت ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه به عنوان عامل اصلی و انواع کود شامل شاهد (بدون مصرف کود)، کود شیمیایی، کود دامی (۲۵ تن در هکتار) و کمپوست حاصل از زباله شهری (۲۵ تن در هکتار) که در سال اول در مزرعه بابونه استفاده شده بود، به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد تنش خشکی در حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی عملکرد گل در بابونه را نسبت به شاهد در هر دو سال کاهش داد. تنش ملایم خشکی سبب افزایش عملکرد اسانس و عملکرد کامازولن شد، در حالی‌که تنش شدید این صفات را کاهش داد. کود شیمیایی در سال اول بالاترین عملکرد و اسانس را تولید نمود که در سال دوم تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. همچنین بقایای کودهای دامی و کمپوست در سال دوم بطور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد گل، اسانس و کامازولن نسبت به بقایای کود شیمیایی و شاهد گردید. بطور کلی کودهای دامی و کمپوست در شرایط تنش خشکی در سال اول و در تمام شرایط رطوبتی در سال دوم عملکرد گل، اسانس و کامازولن مطلوبی ایجاد نموده که کاربرد آن‌ها در راستای اهداف کشاورزی ارگانیک و پایدار قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، کامازولن، کمپوست، کود دامی

مقدمه

امروزه کشاورزی زیستی به عنوان یکی از مناسب‌ترین نظام‌های تولیدی جایگزین نظام‌های کشاورزی رایج مورد توجه متخصصین علوم مختلف در سطح جهان قرار گرفته و تحقیقات وسیع در زمینه ابعاد مختلف این نوع نظام تولیدی پایدار در حال گسترش هستند (Ghorbani et al., 2009). این نظام تأکید زیادی بر استفاده از تولیدات دامی در کشاورزی دارد. آب و عناصر غذایی به عنوان دو عامل مهم در تولید محصولات زراعی و باغی مد نظر می‌باشد که با یکدیگر اثرات متقابلی دارند (Solinas ; Ahmadian et al., 2009 & Deiana, 1996). عمده‌ترین منابع تامین کننده موادآلی خاک، فضولات دامی، بقایای گیاهی و کمپوست‌های حاصل از زباله‌های شهری می‌باشند که امروزه با توجه به اهمیت کشاورزی ارگانیک، استفاده از آن‌ها تا حد زیادی مورد توجه قرار گرفته است (Chaudhry et al., 1999). کودهای آلی به ویژه کودهای دامی در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مقادیر زیادی مواد آلی هستند و می‌توانند به عنوان منابعی غنی از عناصر غذایی بویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم به شمار آیند (Fernandez et al., 1993) و به مرور این عناصر را در اختیار گیاهان قرار دهند (Eghball et al., 2004)، اما کودهای دامی نمی‌توانند تمام احتیاجات غذایی گیاهان را برطرف سازند (Mallanagouda, 1995)، البته با بهبود ساختمان فیزیکی خاک تا حدی سبب تعادل در بخش شیمیایی خاک خواهند شد (Chaudhry et al., 1999). از طرف دیگر، کودهای شیمیایی از طریق تأمین سریع نیازهای غذایی گیاهان، باعث افزایش چشمگیر رشد و عملکرد می‌شوند (Mallanagouda, 1995)، بطوریکه امروزه استفاده بی رویه

۱ و ۲- به ترتیب استادیار گروه تولیدات گیاهی مجتمع آموزش عالی تربت حیدریه، استاد و استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل
(*- نویسنده مسئول: E-mail: myarash59@gmail.com)

از انواع کودهای شیمیایی در دنیا رواج یافته که بدنبال آن مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی فراوانی ایجاد نموده است. در این شرایط استفاده از منابع کودهای دامی و شیمیایی هر کدام به نوعی می‌تواند بر عملکرد گیاهان تأثیر بگذارد (Marschner, 1995). کودهای شیمیایی عناصر را به میزان سریع‌تر و راحت‌تر در اختیار گیاهان قرار می‌دهند، در حالی‌که کودهای دامی محتوی اکثر عناصر غذایی لازم برای رشد گیاهان می‌باشند (Chaudhry et al., 1999).

یکی از مهمترین محدودیت‌های تولید در مناطق خشک و نیمه خشک کمبود آب می‌باشد (Reddy et al., 2004). تنش خشکی ضمن کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهان باعث محدود شدن رشد و برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی در آن‌ها می‌گردد. (French & Turner, 1991). از طرف دیگر، قابلیت دسترسی عناصر غذایی مختلف در خاک تحت تأثیر تنش خشکی تغییرات قابل ملاحظه‌ای می‌یابد (Munns, 1993). بنابراین مدیریت تغذیه گیاه در شرایط تنش یکی از مسائل مهم در تولید محصولات گیاهی محسوب می‌شود (Mohammadkhani & Heidari, 2007). گیاهی که خوب تغذیه شده و به مقدار کافی عناصر غذایی را دریافت کرده باشد، مقاومت بهتری به خشکی خواهد داشت (Lal et al., 1993) و در این راستا کمیّت و کیفیّت محصول نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. شناخت بهتر نقش عناصر غذایی در مقاومت گیاهان به خشکی، با بهبود مدیریت کود در مناطق خشک و نیمه‌خشک و مناطقی که از خشکی رنج می‌برند در ارتباط است (Solinas & Deiana, 1996). در واقع بسته به میزان دسترسی به آب، اضافه کردن عناصر غذایی می‌تواند موجب افزایش و یا کاهش مقاومت به تنش گردد و یا حتی بی‌تأثیر باشد (Sreevalli et al., 2001).

گیاه دارویی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) یکی از مهمترین و پرکاربردترین گیاهان دارویی شناخته شده در جهان (Liuc & Pank, 2005) و ایران بوده و از معدود گیاهانی است که جنبه صنعتی پیدا کرده است (Wagner, 1993). در بررسی‌های صورت گرفته روی این گیاه دارویی مشخص شده است که عملکرد بابونه تحت تأثیر رقم، شرایط آب و هوایی و میزان آب قابل دسترس در محیط ریشه قرار می‌گیرد (Fernandez et al., 1993; Wagner, 1993). در یک بررسی که بوسیله گراتان و گریو (Grattan & Grieve, 1999) انجام شد مشخص گردید که تنش شوری و خشکی باعث بر هم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاهان می‌شود، البته با تکمیل عناصر مورد نیاز از طریق خاک یا محلول‌پاشی می‌توان وضعیت رشد را در این شرایط تا حدی بهبود بخشید.

احمدیان و همکاران (Ahmadian et al., 2009) در بررسی اثر متقابل تنش خشکی و مصرف کود دامی بر خصوصیات کمی و کیفی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) اعلام نمودند مصرف ۲۰ تن در هکتار کود دامی می‌تواند ضمن کاهش اثرات منفی تنش خشکی، باعث افزایش میزان ماده موثره و بهبود خصوصیات کیفی اسانس زیره سبز گردیده و جایگزین آبیاری بیشتر در مرحله پرشدن دانه شود. همچنین عزیزی و همکاران (Azizi et al., 2008) مصرف کمپوست در شرایط تنش آبیاری جهت حصول عملکرد کمی و کیفی مناسب بابونه توصیه نموده‌اند.

مدیریت مواد غذایی مورد نیاز گیاه و تعیین تأثیر بقایای کود بویژه در شرایط تنش خشکی که مدیریت مصرف آب نیز مطرح می‌باشد و ارزیابی تأثیر این گونه مدیریت‌ها بر کمیت و کیفیت گیاه دارویی بابونه از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و لذا انجام تحقیقات مرتبط ضروری به نظر می‌رسد. به عبارت دیگر، می‌توان با مدیریت مصرف آب و سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای شرایط را به گونه‌ای فراهم نمود که گیاه تحت آن شرایط، به پتانسیل بالقوه خود نزدیکتر شده و حداکثر عملکرد کمی و کیفی را حاصل نماید. این آزمایش با هدف بررسی اثرات بقایای انواع کودهای دامی، شیمیایی و کمپوست بر تغییرات عملکرد گل، اسانس و کامازولن و همچنین اجزای عملکرد گیاه دارویی بابونه آلمانی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این بررسی در دو سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ و ۸۸- ۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل با طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۴۸۷ متر از سطح دریا انجام گرفت. متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۶۳ میلی-متر، متوسط حداقل و حداکثر دمای سالیانه آن به ترتیب ۱۶ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد و از لحاظ اقلیمی جزء مناطق گرم و خشک به شمار می‌رود. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از کاشت در جدول ۱ آورده شده است.

این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای خشکی بصورت شاهد یا ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه (W_1)، ۷۰ درصد رطوبت زراعی مزرعه (W_2) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه (W_3) به عنوان عامل اصلی و مصرف سه نوع کود مختلف شامل شاهد (بدون مصرف هیچ نوع کود (F_1))، کود شیمیایی (F_2)، کود دامی (۲۵ تن در هکتار (F_3)) و کمپوست زباله شهری (۲۵ تن در هکتار (F_4)) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. در این آزمایش اندازه هر کرت ۲×۲ متر مربع، فاصله بین کرت‌ها نیم متر و فاصله بین بلوک‌ها به منظور جلوگیری از اثر اختلاط تیمارها دو متر در نظر گرفته شد. هر یک از کودها در سال ۱۳۸۶ به خاک اضافه شد و در سال اول مزرعه تحت کشت بابونه قرار گرفت. در سال دوم (۱۳۸۷) هیچگونه عملیاتی زراعی روی خاک انجام نشد، بطوریکه بذوری که از کشت سال قبل در زمین مانده بود بصورت خودرو جوانه زده و رشد نمودند. بقایای گیاهان و علف‌های هرز پس از جوانه زنی و قبل از شروع رشد سریع گیاه، از کرت‌ها جمع‌آوری شده و به خارج از مزرعه منتقل گردیدند.

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1- Result of physical and chemical soil properties (0-30 cm)

بافت Texture	شن Sand	رس Clay	سیلت Silt	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	ماده آلی OM	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (میلی موس بر سانتی‌متر) EC ($dS.m^{-1}$)
	(%)			(ppm)					(%)			
لومی‌شنی Sandy loam	41	32	27	3.1	4.8	2.2	185	12	0.06	1.45	7.7	1.8

به منظور حفظ تراکم مناسب (۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار) عملیات تنک کردن در دو مرحله نیمه دوم اسفند و نیمه اول فروردین انجام شد. بذر بابونه که در سال اول مورد کشت قرار گرفت واریته بودگلد (تتراپلوئید) بود که از موسسه تحقیقات گیاهان دارویی کرج تهیه شد.

جهت اعمال تیمار خشکی، ۱۰ روز بعد از جوانه زنی و استقرار کامل گیاهچه‌ها در سطح خاک با استفاده از دستگاه TDR میزان رطوبت خاک تعیین و آبیاری براساس تیمارهای آزمایش در کل دوره رشد انجام گرفت.

در این تحقیق صفاتی از قبیل تعداد گل در بوته، عملکرد گل خشک و تازه در هکتار، تعداد شاخه جانبی، ارتفاع بوته، درصد و عملکرد اسانس، زیست توده، قطر طبق، قطر ساقه و عملکرد کامازولن اندازه‌گیری شدند.

از آنجا که بابونه دارای رشد نامحدود می‌باشد و غنچه‌های گل آن به صورت روزانه باز می‌شوند، هر چهار تا پنج روز اقدام به برداشت گل‌ها می‌شد. بدین منظور از هر کرت ۱۰ بوته به عنوان نمونه جامعه و بصورت تصادفی از خطوط وسط هر کرت (حذف اثرات حاشیه‌ای) انتخاب، در هر نوبت برداشت گل تعداد گل هر ۱۰ بوته شمارش و میانگین آن‌ها به عنوان تعداد گل در چین اول در نظر گرفته شد و تا چین آخر به همین صورت عمل گردید و مجموع تعداد گل در پنج چین به عنوان تعداد گل در بوته به ثبت رسید. پس از برداشت هر چین، گل‌ها وزن گردیده و سپس به طور طبیعی و در سایه خشک می‌شدند. پس از یک هفته وزن خشک گل ده بوته نیز تعیین شد. بنابراین میانگین آن‌ها به عنوان وزن تر و خشک گل در بوته و سپس برای هکتار به ثبت رسید. جهت اندازه‌گیری درصد و عملکرد اسانس از دستگاه کلونجر استفاده شد. عملکرد کامازولن بر اساس درصد آن در اسانس با استفاده از روش اسپکتروفتومتری و بر اساس فارماکوپه مجارستان محاسبه شد (Arazmjoo, 2009). در پایان داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SAS ver. 9.1 تجزیه و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

جدول‌های ۲ و ۳ نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های سال اول آزمایش را نشان می‌دهند. براساس جدول مذکور، آبیاری و مصرف کود بر تمام صفات مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری داشته است. اثر متقابل تیمارها بر عملکرد گل تازه و خشک و ارتفاع در سطح یک درصد و بر عملکرد اسانس و کامازولن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، در حالی‌که بر اجزای عملکرد تأثیر معنی‌داری نداشت. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که بیشترین تعداد گل در گیاه و تعداد شاخه جانبی در تیمار شاهد (آبیاری کامل) مشاهده شد که کمترین قطر طبق و ساقه را به خود اختصاص داده بود که با سایر تیمارهای آبیاری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشتند. با افزایش شدت تنش از زیست توده تولیدی گیاه بابونه بطور معنی‌داری کاسته شد (جدول ۴).

تیمار کود شیمیایی بیشترین تعداد گل در گیاه، تعداد شاخه جانبی و زیست توده را تولید کرد که با سایر تیمارهای مصرف کودی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت. تیمار شاهد (بدون مصرف کود) کمترین تعداد گل درگیاه، تعداد شاخه جانبی و زیست توده و بیشترین قطر ساقه و طبق را داشت (جدول ۴).

بیشترین عملکرد گل تازه و عملکرد گل خشک در تیمار کود شیمیایی در سطح آبیاری بدون تنش و کمترین آن‌ها در تیمار شاهد (بدون مصرف کود و تنش شدید) مشاهده شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۵). اختلاف بین تیمارهای مصرف کودهای آلی و شیمیایی در شرایط تنش معنی‌دار نبود، بلکه فقط در شرایط عدم تنش رطوبتی، اختلاف معنی‌داری بین کودهای آلی و شیمیایی مشاهده گردید. بالاترین عملکرد اسانس و عملکرد کامازولن در تیمار کود شیمیایی در شرایط تنش ملایم بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت. تیمار شاهد (بدون مصرف کود) در تنش شدید و عدم تنش به ترتیب کمترین عملکرد اسانس و عمکلرد کامازولن را ایجاد کردند که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشتند. اختلاف تیمار کود دامی و کمپوست در هر سه سطح تنش از لحاظ عملکرد گل، اسانس و کامازولن معنی‌دار نبود (جدول ۵). بالاترین ارتفاع گیاه در تیمار کود شیمیایی و کود دامی در شرایط عدم تنش رطوبتی بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشتند.

جدول ۲- میانگین مربعات عملکرد گل، اسانس و کامازولن بابونه تحت تأثیر آبیاری و انواع کود در سال اول

Table 2- Mean of squares of flower, oil and Chamazulene yield of chamomile under irrigation and different fertilizers at the first year

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد گل تازه Fresh Flower yield	عملکرد گل خشک Dry flower yield	عملکرد اسانس Oil yield	عملکرد کامازولن Chamazulene yield	زیست توده علف‌های هرز Weed biomass
تکرار Replication	2	818.26 ns	142.01 ns	13864.2 ns	166.51 ns	8334.6 ns
آبیاری Irrigation	2	106550.7**	615103**	288064.6**	15614.7**	178577.6**
اشتباه اصلی Main error	4	1151.71	154.83	6570.24	126.09	4356.4
کود Fertilizer	3	46060.1**	3189.22**	282501**	2310.34**	14215.6ns
کود × آبیاری Irrigation×Fertilizer	6	4814.42**	434.16**	17364.39**	249.49**	3210.5ns
اشتباه فرعی Sub error	18	954.9	92.84	4981.62	63.80	6599.1
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	–	2.9	4.93	6.21	7.55	9.3

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و ns عدم معنی‌داری می باشد.

* and ** are significantly different at α=5% and α=1% probability levels, respectively and ns is non-significant.

جدول ۳- میانگین مربعات اجزای عملکرد بابونه تحت تأثیر آبیاری و انواع کود در سال اول

Table 3- Mean of squares of yield components of chamomile under irrigation and different fertilizers at the first year

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد گل در بوته No. flower per plant	قطر طبق Anthodia diameter	قطر ساقه Stem diameter	تعداد شاخه جانبی No. branch	ارتفاع Height
تکرار Replication	2	27.33 ns	0.002ns	0.001 ns	0.178 ns	52.05**
آبیاری Irrigation	2	12774**	1.22*	1.25**	21.03*	643.53**
اشتباه اصلی Main error	4	45.36	0.13	0.007	2.92	2.85
کود Fertilizer	3	666.48**	0.68**	0.145*	19.26**	185.29**
کود × آبیاری Irrigation×Fertilizer	6	172.52ns	0.12 ns	0.026 ns	1.25 ns	20.97**
اشتباه فرعی Sub error	18	127.86	0.08	0.043	2.93	4.03
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	–	8.8	4.64	7.05	13.4	4.64

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns عدم معنی‌داری می‌باشد.

* and ** are significant at α=5% and α=1% probability levels, respectively and ns is non-significant.

جدول ۶ ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد بابونه را تحت تیمارهای تنش خشکی و مصرف انواع کود نشان می‌دهد. بر اساس جدول مذکور، مشاهده می‌گردد عملکرد گل خشک بابونه با تمام صفات کمی همبستگی معنی‌دار و بالایی دارد که با قطر ساقه و طبق بصورت منفی و با سایر صفات همبستگی مثبت می‌باشد که حاکی از تأثیر شدید اجزای عملکرد بر تعیین میزان عملکرد و تولید گل می باشد. عملکرد اسانس نیز با عملکرد کامازولن (r=۰/۸۲) و عملکرد گل خشک (r=۰/۷۴) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح

احتمال یک درصد و با عملکرد گل تازه (r=۰/۶۵) و تعداد شاخه جانبی (r=۰/۵۹) در سطح احتمال پنج درصد داشت. هم‌چنین با قطر طبق همبستگی منفی و معنی‌داری (r=-۰/۷۴) داشت. عملکرد کامازولن بجز با عملکرد اسانس، با صفات کمی مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری نداشت (جدول ۶). در بین اجزای عملکرد، قطر طبق و قطر ساقه با سایر صفات مورد مطالعه همبستگی منفی و معنی‌داری داشتند در حالیکه همبستگی بین سایر صفات معنی‌دار و مثبت بود (جدول ۶).

نتایج حاصل از سال دوم آزمایش (جدول‌های ۷ و ۸) نشان داد که تیمارهای آبیاری و بقایای کودی بر صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشته است (تأثیر بقایای کود بر قطر ساقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و بر تعداد شاخه جانبی در گیاه تأثیر معنی‌داری نداشت). اثر متقابل تیمارها بر قطر طبق و عملکرد کامازولن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، در حالی‌که بر سایر صفات تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول‌های ۷ و ۸).

مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن (جدول ۹) نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، صفات قطر ساقه و طبق افزایش و تعداد گل، تعداد شاخه جانبی در گیاه و ارتفاع بوته کاهش معنی‌داری یافت. بالاترین قطر طبق و قطر ساقه در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) مشاهده شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. بقایای کود دامی کمترین قطر طبق و قطر ساقه و بیشترین تعداد گل، تعداد شاخه جانبی در گیاه و ارتفاع بوته را داشت. اختلاف تیمار بقایای کمپوست وکود دامی از لحاظ صفات مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۹).

با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد گل تازه و خشک و زیست توده بابونه بطور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۱۰). بالاترین عملکرد اسانس و عملکرد کامازولن در تیمار تنش ملایم مشاهده گردید که بطور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارهای تنش رطوبتی بود. به عبارت دیگر تنش ملایم باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس و کامازولن شد. در حالیکه تنش شدید عملکرد اسانس را در بابونه کاهش داد، اما عملکرد کامازولن در شرایط تنش شدید با تیمار عدم تنش اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۱۰).

جدول ٤-زیست توده و اجزای عملکرد بابونه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و انواع کود در سال اول

Table 4- Biomass and yield components of chamomile under irrigation and different fertilizers at the first year

تیمار Treatment	تعداد گل در گیاه No. flower per plant	تعداد شاخه جانبی درگیاه No. branch per plant	قطر طبق Anthodia diameter	قطر ساقه Stem diameter	زیست توده (کیلوگرم در هکتار) Biomass ($kg.ha^{-1}$)
			mm (میلی‌متر)		
آبیاری Irrigation					
۵۰٪ ظرفیت زراعی %50field capacity	90.83c*	9.1b	6.54a	3.22a	750.05c
۷۰٪ ظرفیت زراعی %70field capacity	139.93b	10.3ab	6.06b	3.03b	871.92b
۹۰٪ ظرفیت زراعی %90field capacity	152.60a	11.7a	5.94b	2.59c	994.03a
کود Fertilizer					
شاهد Control	117.65c	9.1c	6.59a	3.11a	820.94b
شیمیایی Chemical	136.24a	12.3a	6.01b	2.81b	916.08a
کود دامی Animal Manure	133.5ab	10.8b	6.0b	2.90ab	884.57ab
کمپوست Compost	123.8bc	9.3c	6.12b	2.97ab	866.41ab

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد نمی‌باشند.

* Means followed by similar letters in each column are not significantly different at p=5% probability level based on Duncan Multiple Range Test.

جدول ۵- میانگین عملکرد گل، اسانس و کامازولن بابونه تحت تیمارهای آبیاری و انواع کود در سال اول

Table 5- Means of flower, oil and Chamazulene yield of chamomile under irrigation and different fertilizers at the first year

تیمار Treatment		عملکرد گل تازه (کیلوگرم در هکتار) Fresh flower yield (k g.ha^{-1})	عملکرد گل خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry flower yield (k g.ha^{-1})	عملکرد اسانس (گرم در هکتار) Oil yield (g.ha^{-1})	عملکرد کامازولن (گرم در هکتار) Chamazulene yield (g.ha^{-1})	ارتفاع (سانتی-متر) Height (cm)
۵۰٪ ظرفیت زراعی %50field capacity	شاهد Control	872.7f*	137.97f	745.23e	64.45g	30.70h
	شیمیایی Chemical	973.9de	178.00e	1108.47c	94.31.de	34.32g
	کود دامی Animal Manure	999.5d	187.60de	1094.83c	103.61cd	40.25ef
	کمپوست Compost	971.1de	180.73e	1057.2cd	101.36cd	38.14f
۷۰٪ ظرفیت زراعی %70field capacity	شاهد Control	939.0e	173.62e	1020.1cd	114.14c	37.25fg
	شیمیایی Chemical	1135.2b	221.84b	1556.6a	167.02a	46.21bc
	کود دامی Animal Manure	1088.9bc	202.86cd	1340.73b	151.82b	45.79c
	کمپوست Compost	1085.2bc	H98.89cd	1303.07b	154.47ab	44.80cd
۹۰٪ ظرفیت زراعی %90field capacity	شاهد Control	1056.7c	199.35cd	944.13d	67.47g	42.01de
	شیمیایی Chemical	1267.8a	247.14a	1343.43b	90.14def	56.49a
	کود دامی Animal Manure	1131b	210.15bc	1070.9cd	78.02fg	53.91a
	کمپوست Compost	1116.9b	206.77bc	1050.6cd	82.11ef	49.56b

* حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد است.

* Means followed by similar letters in each column are not significantly different at p=5% probability level based on Duncan Multiple Range Test.

جدول ۱۱ ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد بابونه را نشان می‌دهد. عملکرد گل خشک با تمام صفات مورد مطالعه در خصوص اجزای عملکرد همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (که با قطر ساقه و طبق منفی و با سایر صفات همبستگی مثبت بود). همبستگی عملکرد اسانس با زیست توده معنی‌دار نبود، در صورتی‌که با سایر اجزای همبستگی معنی‌داری داشت. عملکرد کامازولن با هیچ یک از صفات مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری نداشت. از طرف دیگر، همبستگی سایر اجزای عملکرد با یکدیگر بجز قطر طبق و قطر ساقه مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۱۱).

نتایج نشان داد در هر دو سال آزمایش، با افزایش شدت تنش خشکی، تعداد گل در گیاه، تعداد شاخه جانبی، زیست توده تولیدی و عملکرد گل کاهش معنی‌داری یافت، هر چند قطر ساقه و قطر طبق بابونه افزایش پیدا کرد (جدول‌های ۴، ۵، ۹ و ۱۰). بالا بودن عملکرد اسانس و عملکرد کامازولن در تیمار تنش ملایم نسبت به تیمار تنش شدید و تیمار شاهد (جدول‌های ۵ و ۱۰) به ترتیب بدلیل بالا بودن درصد اسانس و درصد کامازولن در اسانس بابونه و همچنین تولید عملکرد گل بیشتر نسبت به تنش شدید (داده‌ها نشان داده نشده است) می‌باشد. شاخه‌دهی زیاد تحت شرایط خشکی یک صفت نامطلوب محسوب می‌شود (Arazmjoo, 2009)، زیرا باعث مصرف بیهوده رطوبت خاک و اتلاف آن می‌گردد. اگبانایا و همکاران (Ogbonnaya et al., 1998) محدود شدن شاخه‌دهی تحت شرایط خشکی در گیاه کنف (*Hibiscus cannabinus* L.) را به عنوان یک مکانیسم سازگاری در نظر گرفتند که به وسیله آن گیاه تلاش می‌کند تا آب را برای مراحل بحرانی‌تر نمو نظیر گلدهی حفظ نماید. بنابراین کاهش تعداد ساقه در شرایط کم آبی را شاید بتوان به عنوان یک مکانیسم سازگاری در بابونه در نظر گرفت.

جدول ٦- ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد بابونه در سال اول

Table 6- Correlation coefficients between yield and its components at the first year

صفات Characteristics	عملکرد گل خشک Dry flower yield	عملکرد اسانس Oil yield	عملکرد کامازولن Chamazulene yield	تعداد گل در بوته No. flower per plant	عملکرد گل تازه Fresh flower yield	ارتفاع Height	تعداد شاخه جانبی No. branch per plant	قطر طبق Anthodia diameter	قطر ساقه Stem diameter
عملکرد اسانس Oil Yield	0.74**								
عملکرد کامازولن Chamazulene yield	0.29ns	0.82**							
تعداد گل در بوته No. flower per plant	0.86**	0.56ns	0.24ns						
عملکرد گل تازه Fresh flower yield	0.98**	0.65*	0.22ns	0.88**					
ارتفاع Height	0.92**	0.55ns	0.13ns	0.90**	0.95**				
تعداد ساقه جانبی No. branch per plant	0.85**	0.59*	0.08ns	0.78ns	0.88**	0.85**			
قطر طبق Anthodia diameter	-0.90**	-0.74**	-0.39ns	-0.85**	-0.94**	-0.94**	-0.80**		
قطر ساقه Stem diameter	-0.89**	-0.38ns	0.14ns	-0.85**	-0.90**	-0.90**	-0.81**	0.76**	
زیست توده Biomass	0.89**	0.46ns	0.01ns	0.94**	0.93**	0.95**	0.83**	-0.85**	-0.95**

*، ** و ns، به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار بودن می‌باشد.

*, ** and ns are significant at 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively.

کاهش زیست توده تولیدی و عملکرد گل در طی افزایش سطح تنش خشکی براساس نظر اسریوالی و همکاران (Sreevalli et al., 2001) می‌تواند مربوط به کاهش ارتفاع گیاه، کاهش تعداد گل و شاخه جانبی در بوته، کاهش سطح برگ تولیدی و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه باشد. یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول‌ها خصوصاً در ساقه و برگ‌هاست. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاهان را می‌توان از روی اندازه کوچکتر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد (Ashraf & Foolad, 2007). به علاوه در شرایط کم‌آبی، جذب مواد و عناصر غذایی نیز کاهش یافته و بنابراین رشد و توسعه برگ‌ها محدود می‌گردد (Mandal et al., 2008). متعاقب کاهش سطح برگ، جذب نور نیز کاهش یافته و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد و بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و نهایتاً عملکرد آن دچار نقصان می‌شود (Ashraf & Foolad, 2007).

نتایج نشان داد که هر یک از کودهای مصرفی به نوعی سبب افزایش عملکرد گل و بهبود اجزای عملکرد شدند. مصرف کودهای شیمیایی در سال اول باعث بهبود اجزای عملکرد و افزایش عملکرد گل گردید. در حالیکه بقایای آن در سال دوم تأثیر چندانی بر عملکرد و اجزای آن نداشته و اختلاف معنی‌داری با تیمار عدم مصرف کود مشاهده نشد. عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم از اساسی ترین نیازهای تغذیه ای گیاهان محسوب می‌شوند که می‌توانند بصورت کمکی در اختیار گیاه قرار گرفته و باعث افزایش رشد و عملکرد گردند (Mandal et al., 2008). افزایش عملکرد گل در طی استفاده از کودهای دامی در سطح بالای تنش می تواند مربوط به تأثیر آن در

افزایش عناصر غذایی خاک و فراهم آوردن قابلیت جذب آن ها توسط گیاه باشد (Arancon et al., 2004) که کارآیی جذب عناصر را افزایش می‌دهد. همچنین کود دامی در بهبود خلل و فرج خاک و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک موثر است (Azizi et al., 2008). کاربرد کمپوست بر گیاه دارویی بابونه باعث افزایش شاخص های رشدی از جمله تعداد گل در گیاه، و عملکرد گل تازه و خشک گردید که مطابق نتیجه لیوک و پانک (Liuc & Pank, 2005) می باشد. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که اثرات مطلوب کمپوست بدلیل تغییر شرایط فیزیکی، شیمیایی و خصوصیات میکروبی و بیولوژیکی محیط کشت (Atiyeh et al., 2000) و همچنین تنظیم pH و افزایش معنی‌دار ظرفیت نگهداری آب در محیط ریشه گیاه است (Mcginnis et al., 2003). افزایش عملکرد و بهبود اجزای عملکرد در سال دوم، حاکی از باقیماندن اثر مصرف کودهای آلی و کمپوست در خاک و تأثیر بر رشد گیاه سالهای بعدی می باشد که مشابه نتایج اقبال و همکاران (Eghbal et al., 2004) می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان چنین نتیجه گرفت که احتمالاً خواص شیمیایی و فیزیکی هیومیک اسید موجود در کودهای آلی، از طریق افزایش نگهداری عناصر غذایی و افزایش هورمون‌های تنظیم کننده رشد (Arancon et al., 2005) و همچنین افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها (Arancon et al., 2004) باعث افزایش تجمع نیتروژن، فسفر و سایر عناصر مورد نیاز در گیاه شده و عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان سال‌های بعد را نیز بهبود می‌بخشد.

عملکرد گل، اسانس و کامازولن در گیاه بابونه در مجموع حاصل برهم‌کنشی اجزایی هستند که هر یک از آنها در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی شکل می‌گیرند. با توجه به اینکه بابونه گیاهی رشد نامحدود می‌باشد، اجزای عملکرد، در طول دوره رشد و گلدهی تأثیر مهمی بر تغییرات عملکرد دارند. در این تحقیق که همبستگی بالایی بین اجزای عملکرد در هر دو سال آزمایش مشاهده گردید مشخص می‌شود عملکرد گل، اسانس و کامازولن تحت تأثیر اکثر صفات مورد مطالعه قرار می‌گیرد (جدول‌های ۶ و ۱۱).

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان دریافت مصرف کودهای دامی و کمپوست تأثیر بیشتری بر عملکرد کمی و کیفی بابونه بویژه در شرایط تنش خشکی و در طی سالهای متوالی نسبت به کود شیمیایی داشته و تا حدی اثرات منفی تنش خشکی را نیز جبران می کند. در حالی‌که مصرف کودهای شیمیایی ضمن ایجاد خسارات زیست محیطی، هر چند در سال اول آزمایش در شرایط مطلوب و تنش ملایم رطوبتی عملکرد بیشتری را عاید می‌سازد، اما در سال‌های بعدی، از دسترس گیاه خارج شده و تأثیری بر رشد و افزایش عملکرد گیاه ندارد. بنابراین، مصرف کودهای آلی در مدیریت منابع غذایی و رطوبتی در بلند مدت و در شرایط تنش خشکی جهت حصول عملکرد کمی و کیفی مطلوب‌تر بابونه در راستای اهداف کشاورزی ارگانیک و پایدار قابل توصیه می‌باشد.

جدول ۷- میانگین مربعات عملکرد گل، اسانس و کامازولن بابونه تحت تأثیر آبیاری و انواع کود در سال دوم

Table 7- Mean of squares of flower, oil and Chamazulene yield of chamomile under irrigation and different fertilizers at the second year

منابع تغییر S.O.V.	منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد گل تازه Fresh flower yield	عملکرد گل خشک Dry flower yield	عملکرد اسانس Oil yield	عملکرد کامازولن Chamazulene yield
تکرار Replication	2	1032.84ns	17.79 ns	10382.24ns	64.59 ns	692.8 ns
آبیاری Irrigation	2	73541.2**	8961.06**	271222.8**	14742.5**	178022.3**
اشتباه اصلی Main error	4	1636.85	102.65	3990.94	39.14	750.6
کود Fertilizer	3	27266.9**	2583.62**	232228.95**	4010.57**	17030.0**
کود × آبیاری Irrigation×fertilizer	6	1136.32ns	229.82 ns	19254.61ns	383.73*	391.2ns
اشتباه فرعی Sub error	18	1085.04	138.30	9099.22	98.11	659.7
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	–	3.12	5.7	8.16	8.69	3.0

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و ns عدم معنی‌داری می‌باشد.

* and ** are significantly different at α=5% and α=1% probability levels, respectively and ns is non-significant.

جدول ۸- میانگین مربعات اجزای عملکرد بابونه تحت تأثیر آبیاری و انواع کود در سال دوم

Table 8- Mean of squares of yield components of chamomile under irrigation and different fertilizers at the second year

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد گل دربوته No. flower per plant	قطر طبق Anthodia diameter	قطر ساقه Stem diameter	تعداد شاخه جانبی در بوته No. branch per plant	ارتفاع Height
تکرار Replication	2	37.08 ns	0.0004ns	0.05ns	0.18ns	3.38ns
آبیاری Irrigation	2	11681.65**	1.33**	1.92**	32.91**	690.50**
اشتباه اصلی Main error	4	11.81	0.06	0.02	0.46	4.11
کود Fertilizer	3	1207.94**	0.96**	0.24*	2.99ns	117.34**
کود × آبیاری Irrigation× Fertilizer	6	19.98ns	0.09*	0.04ns	0.34ns	2.86ns
اشتباه فرعی Sub error	18	18.67	0.026	0.05	1.04	4.60
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	3.2	2.65	7.28	9.4	4.82

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و ns عدم معنی‌داری می‌باشد.

* and ** are significantly different at α=5% and α=1% probability levels, respectively and ns is non-significant.

جدول ۹- اجزای عملکرد بابونه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و انواع کود در سال دوم

Table 9-Yield components of chamomile under irrigation and different fertilizers at the second year

تیمار Treatment	تعداد گل در گیاه No. flower per plant	تعداد شاخه جانبی درگیاه No. branch per plant	قطر طبق (میلی‌متر) Anthodia diameter (mm)	قطر ساقه (میلی‌متر) Stem diameter (mm)	ارتفاع (سانتی-متر) Height (cm)
آبیاری Irrigation					
۵۰٪ ظرفیت زراعی %50field capacity	99.77c*	9.30c	6.48a	3.51a	36.88c
۷۰٪ ظرفیت زراعی %70field capacity	146.60b	11.41b	6.08b	3.11b	44.68b
۹۰٪ ظرفیت زراعی %90field capacity	158.91a	12.57a	5.82b	2.71c	52.04a
کود Fertilizer					
شاهد Control	123.68c	10.48b	6.57a	3.28a	40.43c
شیمیایی Chemical	127.11c	10.86ab	6.13b	3.21ab	42.67b
کود دامی Animal Manure	148.01a	11.83a	5.78c	2.92c	48.24a
کمپوست Compost	141.57b	11.21ab	6.03b	3.04bc	46.79a

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نمی‌باشند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α=5% probability level, Duncan Multiple Range Test.

جدول ۱۰- عملکرد گل، اسانس و کامازولن و زیست توده بابونه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و انواع کود در سال دوم

Table 10- Flower, oil and Chamazulene yield and biomass of chamomile under irrigation and different fertilizers at the second year

تیمار Treatment	عملکرد گل تازه (کیلوگرم در هکتار) Fresh flower yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد گل خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry flower yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد اسانس (گرم در هکتار) Oil yield ($g.ha^{-1}$)	عملکرد کامازولن (گرم در هکتار) Chamazulene yield ($g.ha^{-1}$)	زیست توده (کیلوگرم در هکتار) Biomass ($g.ha^{-1}$)
آبیاری Irrigation					
۵۰٪ ظرفیت زراعی %50field capacity	972.1c*	178.63c	1010.92c	92.23b	744.4c
۷۰٪ ظرفیت زراعی %70field capacity	1063.1b	206.71b	1309.98a	154.45a	853.3b
۹۰٪ ظرفیت زراعی %90field capacity	1127.9a	233.28a	1187.44b	95.36b	987.6a
کود Fertilizer					
شاهد Control	983.4c	185.59c	990.9b	92.43c	819.0c
شیمیایی Chemical	1039.3b	200.0b	1084.5b	100.32c	838.6c
کود دامی Animal Manure	1105.4a	223.96a	1343.6a	137.18a	918.6a
کمپوست Compost	1089.5a	215.27a	1258.8a	126.13b	870.8b

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد نمی‌باشند.

* Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α=5% probability level, Duncan Multiple Range Test.

جدول ۱۱- ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد بابونه در سال دوم

Table 11- Correlation coefficients between yield and its components at the second year

صفات Characteristics	عملکرد گل خشک Dry flower yield	عملکرد اسانس Oil yield	عملکرد کامازولن Chamazulene yield	تعداد گل در بوته No. flower per plant	عملکرد گل تازه Fresh flower yield	ارتفاع Height	تعداد شاخه جانبی No. branch	قطر طبق Anthodia diameter	قطر ساقه Stem diameter
عملکرد اسانس Oil yield	0.75**								
عملکرد کامازولن Chamazulene yield	0.36ns	0.87**							
تعداد گل در بوته No. flower per plant	0.90**	0.73**	0.46ns						
عملکرد گل تازه Fresh flower yield	0.98**	0.78**	0.42ns	0.91**					
ارتفاع Height	0.95**	0.64*	0.26ns	0.95**	0.95**				
تعداد شاخه جانبی No. branch	0.92**	0.65*	0.32ns	0.97**	0.92**	0.97**			
قطر طبق Anthodia diameter	-0.84**	-0.71**	-0.40ns	-0.84**	-0.90**	-0.88**	-0.85**		
قطر ساقه Stem diameter	-0.96**	-0.62*	-0.24ns	-0.92**	-0.93**	-0.96**	-0.96**	0.81**	
زیست توده Biomass	0.93**	0.56ns	0.17ns	0.93**	0.92**	0.97**	0.96**	-0.84**	-0.96**

*، ** و ns، به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار بودن می‌باشد.

* , ** and ns are significant at 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively.

منابع

1- Ahmadian, A., Ghanbari, A., and Galavi, M. 2009. The interaction effect of water stress and animal manure on yield components, essential oil and chemical compositions of *Cuminum cyminum*. Iranian Journal of Field Crops Research 40(1): 173-180. (In Persian with English Summary)

2- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Atiyeh, R.M., and Metzger, J.D. 2004. Effect of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. Brioresource Technology 93: 139-143.

3- Arancon, N.Q., Galvis P.A., and Edwards, A. 2005. Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts. Brioresource Technology 96(10): 1137-1142.

4- Arazmjoo, E., 2008. Effect of drought stress and different fertilizers on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) case study: Sistan. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran. (In Persian with English Summary)

5- Ashraf, M., and Foolad, M.R. 2007. Roles of glycine, betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany 59: 206-216.

6- Atiyeh, R.M., Edwards, C.A. Subler, S., and Metzger, J.D. 2000. Earthworm-processed organic wastes as components of horticultural potting media for growing marigold and vegetable seedlings. Compost Science and Utilization 8(3): 215-223.

7- Azizi, M., rezwanee, F., Hassanzadeh Khayat, M., Lakzian, A., and Neamati, H. 2008. The effect of different levels of vermicompost and irrigation on morphological properties and essential oil content of German chamomile (*Matricaria recutita* variety Goral). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 24(1): 82-93. (In Persian with English Summary)

8- Chaudhry, M.A., Rehman, A., Naeem, M.A., and Mushtaq, N. 1999. Effect of organic and inorganic fertilizers on nutrient contents and some properties of eroded loess soils. Pakistan Journal of Soil Science 16: 63-68.

9- Eghball, B., Ginting, D., and Gilley, J.E. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. Agronomy Journal 96: 442-7.
10- Fernandez, R., Scull, R., Gonzales, J.L., Crespo, M., Sanchez, E., and Carballo, C. 1993. Effect of fertilization on yield and quality of *Matricaria reculita* L. (Chamomile). Aspects of mineral nutrition of the crop. Memorias 11th Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. 2ed Congresso cubcno de la Ciencia del Suelo 3: 891-894.
11- French, R.J., and Turner, N.C. 1991. Water deficit change dry matter partitioning and seed yield in narrow leafed lupins. Australian Journal of Agricultural Research 42: 471- 484.
12- Grattan, S.R., and Grieve, C.M. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae 78: 127-157.
13- Lal, P., Chhipa, B.R., and Kumar, A. 1993. Salt affected soil and crop production: a modern synthesis. Agro Botanical Publishers, India, 375 pp.
14- Liuc, J., and Pank, B. 2005. Effect of vermicompost and fertility levels on growth and oil yield of Roman chamomile. Scientia Pharmaceutica 46: 63-69.
15- Mallanagouda, B. 1995. Effects of N, P, K and FMY on growth parameters of onion, garlic and coriander. Journal of Medic and Aromatic Plant Science 4: 916-918.
16- Mandal, K., Saravanan, R., and Maiti, S. 2008. Effect of different levels of N, P and K on downy mildew *(Peronospora plantaginis)* and seed yield of *Plantago ovata*. Crop Protection 27(6): 988-995.
17- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Academic Press. Ltd. London 889 pp.
18- Mcginnis, M., Cooke, A., Bilderback, T., and Lorscheider, M. 2003. Organic fertilizers for basil transplant production. Acta Horticulturea 491: 213- 218.
19- Mohammadkhani, N., and Heidari, R. 2007. Effects of water stress on respiration, photosynthetic pigments and water content in tow Maize cultivar. Pakistan Journal of Biological Science 10(22): 4022-4028.
20- Munns, R. 1993. Physiological process limiting plant growth in saline soil: some dogmas and hypotheses. Plant, Cell and Environment 16: 15-24.
21- Ogbonnaya, C.L., Nwalozie, M.C., Roy-Macauley, H., and Annerose, D.J.M. 1998. Growth and water relations of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) under water deficit on a sandy soil. Industrial Crops and Products 8: 65-76.
22- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology161: 1189-1202.
23- Solinas, V., and Deiana, S. 1996. Effect of water and nutritional conditions on the *Rosmarinus officinalis* L. phenolic fraction and essential oil yields. Italian Eppos 19: 189-198.
24- Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R., kuikkarni, R., SuShil Hasan, S., Samresh, D., Kukre, J., Ashok, A., Sharmar Singh, K., Srikant, S., and Rakesh, T. 2001. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in petriwinkle. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science 22: 356-358.
25- Wagner, T. 1993. Chamomile production in Slovenia. Acta Horticulturae 344: 476-478.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، ص. ۴۰۵-۳۹۶

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 396-405

مطالعه پایداری در کشت‌بوم‌های زعفران (*Crocus sativus* L.) شهرستان‌های بیرجند و قاین

زهرا حاتمی سردشتی[1*]، مجید جامی‌الاحمدی[2]، عبدالمجید مهدوی دامغانی[3] و محمدعلی بهدانی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۳

چکیده

این تحقیق در مقیاس منطقه‌ای و در شهرستان‌های بیرجند و قاین در استان خراسان جنوبی به منظور تدوین شاخصی برای کمّی کردن میزان پایداری بوم شناختی نظام کشاورزی زعفران (*Crocus sativus* L.)، در سال ۱۳۸۸ انجام شد. اطلاعات مربوط به این نظام کشاورزی شامل سنجه-های اجتماعی- اقتصادی، تولید محصولات زراعی، دام، کود و مواد شیمیایی، آب و آبیاری، شخم و مکانیزاسیون و مدیریت علف‌های هرز با استفاده از پرسش نامه جمع آوری شد و مورد تجزیه وتحلیل قرار گرفت. نتایج شاخص پایداری بیانگر این مطلب است که کشت‌بوم‌های مورد مطالعه در وضعیت مطلوبی از نظر پایداری قرار ندارند. فقط حدود ۹/۱۸ درصد از کشاورزان مورد مطالعه به امتیازی مساوی یا بیش از ۵۰ (از ۱۰۰ امتیاز شاخص پایداری) دست یافته‌اند. بیشترین امتیاز به‌دست آمده در میانکشت‌بوم‌های مورد مطالعه معادل ۵۵/۱۲ بود. میانگین امتیاز شاخص پایداری در این نظام در کل منطقهٔ مورد مطالعه ۳۹/۴۶ و مقدار آن برای بیرجند و قاین به ترتیب ۳۷/۲ و ۴۵/۰۹ به‌دست آمد. در میان گروه سنجه‌های مورد مطالعه در این تحقیق کمترین درصد امتیاز کسب شده متعلق به گروه‌های شخم و مکانیزاسیون و آب و آبیاری به ترتیب با ۲۸/۳۱ و ۳۰/۰۱ درصد از کل امتیاز سنجه بود. نتایج رگرسیون گام به گام نشان داد که مهم‌ترین عوامل تعیین کنندهٔ شاخص پایداری این نظام زراعی، وجود دام، آبیاری تابستانه، دسترسی به مروجین کشاورزی، دسترسی به بیمه، وام و اعتبارات بانکی، یکبار شخم، دسترسی به نهاده‌های کشاورزی، درآمد ناخالص از محصول زعفران، وسعت مزرعهٔ زعفران، سایر درآمدها و میزان مصرف آب بوده است. ضرایب به دست آمده از رگرسیون گام به گام برای عوامل ذکر شده به ترتیب ۳/۴۲، ۲/۹۹، ۲/۵۴، ۲/۱۴۶، ۱/۳۶، ۱/۲۹، ۰/۰۰۴۹، ۰/۰۰۰۳۱، ۰/۰۰۰۰۰۴۲ و ۰/۰۰۰۵- بود.

واژه‌های کلیدی: سنجه، شاخص پایداری، کشاورزی پایدار

مقدمه

پایداری مانند تمام اصطلاحات فنی، معانی کم و بیش متفاوتی از دیدگاه کارشناسان رشته‌های مختلف پیدا کرده است. بنابراین، یافتن تعریفی دقیق از آن برای کشاورزی نیز مشکل است (Afraz, 1997). بیوس و دانلاپ(Beus & Dunlop, 1994) شیوه‌های کشاورزی مانند استفاده از آفت‌کش‌ها و کودهای معدنی و حفظ تنوع را به عنوان اقداماتی برای رسیدن به پایداری مطرح کرده‌اند. مدیریت پایدار زمین و منابعِ آب، نیاز عمده‌ای برای کشاورزی پایدار است (Rasul & Thapa, 2003). یک کارگروه بین‌المللی (Smyth & Dumanski, 1993) حفظ یا افزایش قابلیت تولید، کاهش ریسک، حفاظت از منابع طبیعی، ارتقاء قابلیت بقای اقتصادی و مقبولیت اجتماعی را شرط لازم برای مدیریت پایدار زمین در نظر گرفته بود. مفهوم پایداری کشاورزی در پاسخ به نگرانی‌های مربوط به اثرات سوء زیست محیطی و اقتصادی سیستم‌های رایج کشاورزی پدید آمده است (Hansen, 1996).

به رغم نگرانی‌های معمول در مورد کشاورزی پایدار، اختلافات زیادی در میان پژوهشگران و سایر مسؤلان در مورد ویژگی‌های کشاورزی پایدار وجود دارد (Rigby & Caceres, 2001). نتایج برخی تحقیقات (Tisdell, 1996)، استفادهٔ کم از نهاده‌های خارجی را به عنوان شرط مهم برای پایداری کشاورزی در نظر دارند. سایر محققان از جمله هانسن (Hansen, 1996) دریافته‌اند که افزایش استفاده از نهاده‌های خارجی، تاحدی، برای حفظ سطح مواد مغذی خاک و عملکرد محصول لازم است. با وجود تنوع در برداشت‌ها از کشاورزی پایدار، اجماعی بر سه ویژگی اساسی کشاورزی پایدار وجود دارد (Rasul & Thapa, 2003):

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند و استادیار پژوهشکدهٔ علوم محیطی دانشگاه شهیدبهشتی
(*- نویسنده مسئول: E-mail: Zahra.hatamy@yahoo.com)

- قابلیت تولید پایدار گیاه و دام،
- حفظ کیفیت محیط و
- مقبولیت اجتماعی.

به نظر می‌رسد که پایداری اکوسیستم‌های کشاورزی می‌تواند از طریق حمایت بیشتر از تولیدات کشاورزی (جریان انرژی) در زمینه خدمات طبیعی (مانند تجزیه ماده آلی بقایای محصول و بازگرداندن حاصلخیزی خاک یا کاهش شیوع آفات) که توسط اشکال زندگی وحشی و اهلی شده موجود در سیستم ارائه شده و به نوبه خود از طریق شرایط خاک و آب و هوا در منطقه تعیین شده است، بهبود یابد (Odum, 1989). چنین سیستمی باید به‌دست آوردن سطوح و ثبات تولید غذا و الیاف را مطابق با ویژگی‌های منطقه‌ای و با سطوح مطلوب کاربرد نهاده هدف قرار دهد، در حالی‌که پایداری تولید را در طول زمان بدون اختلال خدمات طبیعی به‌دست می‌دهد (Van Ittersum & Rabbinge, 1997).

مطالعات متعددی در زمینهٔ کمّی کردن پایداری در ایران و دیگر نقاط جهان انجام شده است. یکی از این پژوهش‌ها در ایران توسط مهدوی دامغانی (Mahdavi Damghani, 2005) صورت گرفت. شاخصی که وی تدوین کرد از ۸۲ سنجه در نظام گندم-پنبه تشکیل شده بود. سنجه‌ها در چند گروه شامل سنجه‌های اجتماعی-اقتصادی، تولید محصولات زراعی و دامی، کود و مواد شیمیایی، مدیریت بقایای گیاهی، آب و آبیاری، شخم و مکانیزاسیون، تنوع گونه‌ای کشاورزی و مدیریت علف‌های هرز دسته‌بندی شده بودند. برای محاسبهٔ شاخص پایداری از روش مجموع وزنی[1] استفاده شده بود. براساس این روش، برای هر سنجه امتیاز خاصی تعیین می‌شود. امتیاز هر سنجه از صفر تا سقف (۰/۵، ۱ و ۲) متغیر بود که به مقادیر مختلف سنجه تعلق می‌گرفت. به‌علاوه برای هر سنجه، یک دامنهٔ مقادیر در نظر گرفته شده بود که بر اساس آن به بهترین حالت، حداکثر امتیاز و به نامطلوب‌ترین حالت، امتیاز صفر یا حداقل امتیاز تعلق می‌گرفت. پس از تعیین امتیاز هر سنجه، مجموع امتیاز سنجه‌ها جمع شده و به عنوان امتیاز نهایی منظور می‌شد.

پس از محاسبهٔ امتیاز شاخص پایداری، برای شناسایی مهم‌ترین سنجه‌های تعیین‌کنندهٔ شاخص پایداری از میان ۸۲ سنجهٔ مورد استفاده، آنالیز گام‌به‌گام پس‌رونده[2] انجام گرفته بود. بر اساس این روش، شاخص پایداری به عنوان متغیر وابسته و سنجه‌های مورد مطالعه به‌عنوان متغیرهای مستقل انتخاب و آنالیز شدند و از میان آن‌ها، سنجه‌هایی که حضورشان در معادله، تأثیر معنی‌داری در برآورد شاخص پایداری نداشت حذف شده بودند. سپس با استفاده از رگرسیون چندمتغیرهٔ خطی[3]، ضرایب معادلهٔ برآورد شاخص پایداری محاسبه شده بود. دولت بریتانیا ۳۴ سنجه، در ۱۳ گروه پیشنهاد کرده است؛ از جمله آن‌ها صدمات مواد مغذی به آب شیرین، سطح فسفر خاک، شیوه‌های مدیریت عناصر غذایی، انتشار آمونیاک، انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاربرد آفت‌کش‌ها، استفاده از آب، حفاظت خاک، منبع زمین کشاورزی، حفظ ارزش زمین کشاورزی، سیستم‌های مدیریت زیست محیطی، اقتصاد روستایی و انرژی است (MAFF[4] cited in Webster, 1999).

همین روش برای تعیین عوامل مؤثر بر تولید عملکرد محصولات زراعی نیز مورد استفاده قرار گرفت. سندز و پدمور (Sands & Podmore, 2000) شاخص پایداری محیط‌زیست[5] را به عنوان شاخص ارزیابی پایداری کشاورزی استفاده کردند و آن را در مزارع ایالات متحده بکار بردند. شاخص پایداری محیط‌زیست نماینده گروهی شامل ۱۵ زیر سنجه پایداری از جمله عمق خاک، کربن آلی خاک، تراکم توده و عمق آب زیر زمینی است. تلارینی و کاپورالی (Tellarini & Caporali, 2000) مقدار پول و انرژی را برای مقایسه پایداری دو مزرعهٔ کم‌نهاده و پرنهاده در ایتالیا استفاده کردند. گودا و جایاراماییا (Gowda & Jayaramaiah, 1998) نه سنجه، یعنی مدیریت تلفیقی مواد مغذی، قابلیت تولید زمین، مدیریت تلفیقی آب، مدیریت تلفیقی آفت[6]، خودکفائی نهاده، تضمین عملکرد محصول، توان تولید نهاده، خودکفائی اطلاعات و کفایت غذائی خانواده را برای ارزیابی پایداری تولید برنج در هند استفاده کردند.

زعفران (*Crocus sativus* L.) یکی از محصولات صادراتی مهم کشور است که نقش عمده‌ای را در درآمد و اشتغال تولیدکنندگان زعفران (Tajiani & Koopahi, 2005; Ghorbani, 2006) و ایجاد درآمد ارزی قابل توجه برای کشور (Tajiani & Koopahi, 2005) ایفاء می‌کند. یونان، مراکش، کشمیر، اسپانیا و ایتالیا کشورهای عمدهٔ تولیدکنندهٔ زعفران در دنیا هستند. در این میان ایران به عنوان خاستگاه اصلی زعفران همیشه بالاترین سطح زیر کشت (۴۷۲۰۸ هکتار) و تولید (۱۶۰ تن در سال) را داشته است (Kafi et al., 2002). بر اساس آمار سال ۲۰۰۵، میزان تولید زعفران در ایران ۲۳۰ تن بود که معادل ۹۳/۷ درصد از کل تولید جهانی می‌باشد (Ghorbani, 2006).

مطالعه حاضر با هدف تعیین شاخص پایداری در کشت‌بوم‌های زعفران در بخش‌هایی از استان خراسان جنوبی برای پی بردن به کاستی‌ها و موانع موجود بر سر راه پایداری کشاورزی در این مناطق انجام شده است.

1- Weighting sum
2- Backward stepwise analysis
3- Multiple linear regression

4- Ministry of agriculture, forestry and fisheries (MAFF)
5- Environmentally sustainability index (ESI)
6- Integrated pest management (IPM)

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۸ در مقیاس منطقه‌ای و در سطح شهرستان‌های بیرجند و به منظور تدوین شاخصی برای کمی کردن میزان پایداری بوم شناختی نظام‌های کشاورزی زعفران انجام شد. در تحقیق حاضر سعی شده است تا حد امکان تمام جنبه‌های پایداری که عبارتند از ابعاد زراعی، بوم‌شناختی اجتماعی و اقتصادی مد نظر قرار گیرند. بر این اساس، یک شاخص پایداری که تلفیقی از ۷۵ سنجه بود برای نظام زراعی زعفران طراحی شد. سنجه‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل سنجه‌های اجتماعی- اقتصادی، تولید محصولات زراعی و دامی، کود و مواد شیمیایی، آب و آبیاری، شخم و مکانیزاسیون و مدیریت علف‌های هرز بوده که اطلاعات آن‌ها از طریق پرسش‌نامه جمع‌آوری شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

جدول ۱- گروه‌بندی سنجه‌های طرح و امتیاز هر گروه از ۱۰۰ امتیاز شاخص پایداری

Table 1- Classification of research indicators and values for group from 100 scores of sustainability index

سنجه Indicator	امتیاز Score
اجتماعی – اقتصادی Socio-economic	35
تولید Yield	15
کود و مواد شیمیایی Chemical and organic fertilizers	14
کنترل علف‌های هرز Weed control	1.5
آب و آبیاری Water and irrigation	18
شخم و مکانیزاسیون Tillage and machinery	12.5
دام Livestock	4
مجموع Total	100

محاسبهٔ شاخص پایداری با استفاده از روش مجموع وزنی (Andreoli & Tellarini, 2000; cited in Mahdavi Damghani et al., 2005). برای این کار، برای هر سنجه سهم امتیاز مشخصی از شاخص نهایی در نظر گرفته شده و در تمامی سنجه‌ها امتیازدهی از صفر تا سقف امتیاز آن سنجه با توجه به وضعیت سنجه از نامطلوب‌ترین حالت تا مطلوب‌ترین حالت صورت می‌گیرد. پس از تعیین امتیاز هر سنجه، مجموع امتیاز سنجه‌ها جمع شده و به عنوان امتیاز شاخص نهایی معرفی می‌شود. در جدول ۱ امتیاز هر گروه سنجه نشان داده شده است.

پس از طراحی سنجه‌ها، در مجموع، ۹۸ پرسش‌نامه تکمیل گردید. در این میان ۷۰ پرسش‌نامه مربوط به شهرستان بیرجند و ۲۸ پرسش‌نامه مربوط به شهرستان قاین بود. انتخاب مزارع به صورت تصادفی صورت گرفت. نحوهٔ پر کردن پرسش‌نامه برای پیش‌گیری از دریافت اطلاعات گُنگ، با حضور در مزارع زعفران انتخابی و به صورت پرسش و پاسخ مستقیم بوده است. پس از محاسبهٔ امتیاز شاخص پایداری، برای شناسایی مهم‌ترین سنجه‌های تعیین‌کنندهٔ شاخص پایداری از میان سنجه‌های مورد استفاده، آنالیز گام به گام[1] انجام شد. بر اساس این روش، شاخص پایداری به عنوان متغیر وابسته و سنجه‌های مورد مطالعه به عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شدند. برای محاسبهٔ شاخص پایداری از فرم عمومی معادلهٔ رگرسیون (معادله ۱) استفاده شد.

$$y= f(x_1, x_2 \ldots x_n) \quad \text{معادله (۱)}$$

بر اساس آن معادلهٔ رگرسیون خطی عمومی (معادله ۲) مد نظر قرار گرفت.

$$y= b_0+ b_1x_1+ b_2x_2+\ldots b_nx_n \quad \text{معادله (۲)}$$

که در این معادله، b_1 تا b_n ضرایب متغیرهای مستقل، b_0 مقدار ثابت معادله و y متغیر وابسته است، برازش گردید. از آنجا که تعداد عوامل مؤثر بر شاخص پایداری بسیار زیاد است، به منظور دستیابی به نتایج صحیح و قابل قبول و جلوگیری از اُریب شدن رگرسیون برآوردی، نمی‌توان تأثیر تمامی این متغیرها را به‌طور هم‌زمان بر شاخص پایداری مورد ارزیابی قرار داد. بنابراین در این مطالعه تنها تأثیر برخی از این متغیرها، با توجه به درجهٔ اهمیت آنها بر اساس مبانی تئوری موجود و اطلاعات مربوط به آنها، بر روی شاخص پایداری مزارع زعفران مورد بررسی قرار گرفته است. سپس با استفاده از روش آنالیز گام به گام، فرآیند حذف متغیرهای غیر ضروری دنبال شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای Excel، SPSS ver. 15.0 و Sigma plot ver. 11.0 استفاده شد.

نتایج و بحث

میانگین امتیاز شاخص پایداری درکشت‌بوم‌های مورد مطالعه ۳۹/۴۶ به‌دست آمد. امتیاز شاخص پایداری نهایی در دو شهر بیرجند و قاین در جدول (۲) و میانگین امتیاز سنجه‌های مختلف پایداری در جدول (۳) نشان داده شده است. این رقم برای شهرستان بیرجند۳۷/۲۰ و برای شهرستان قاین ۴۵/۰۹ بود. نتایج شاخص پایداری بیانگر این مطلب است که کشت‌بوم‌های مورد مطالعه در وضعیت مطلوبی از نظر پایداری قرار ندارند. فقط حدود ۹/۱۸ درصد از کشاورزان مورد مطالعه به امتیازی مساوی یا بیش از ۵۰ دست یافته‌اند. بیشترین امتیاز به‌دست آمده در میان کشت‌بوم‌های مورد مطالعه معادل ۵۵/۱۲ بود.

1- Stepwise regression

جدول ۲- میانگین شاخص پایداری کشت‌بوم‌های زعفران در منطقهٔ بیرجند و قاین
Table 2- The mean sustainability index of saffron agroecosystems in Birjand and Qaen

منطقه Region	میانگین شاخص پایداری Means of sustainability index
بیرجند Birjand	37.20
قاین Qaen	45.09
میانگین Mean	39.46

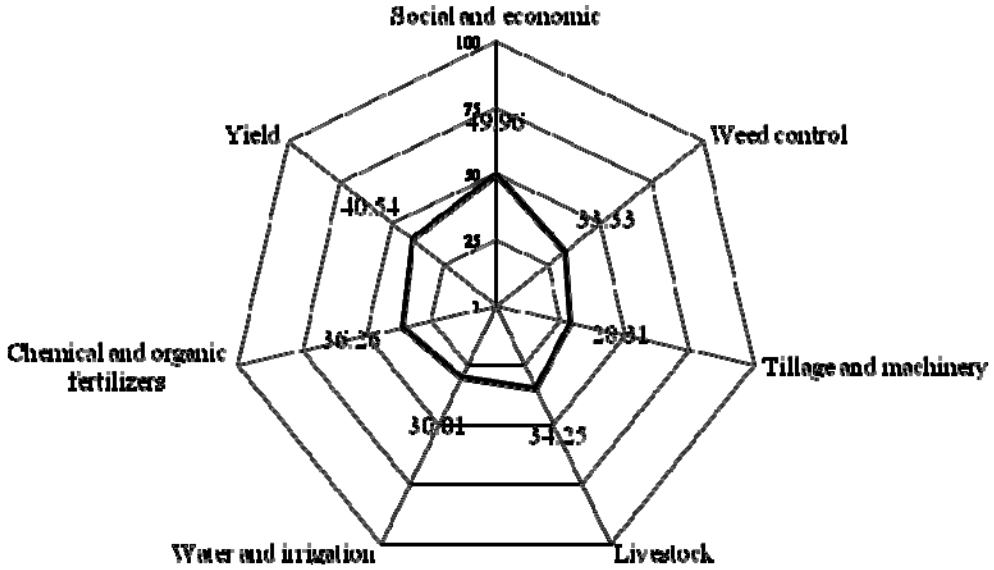
جدول ۳- میانگین امتیاز سنجه‌های مختلف و شاخص پایداری کشت‌بوم‌های زعفران در منطقهٔ بیرجند و قاین
Table 3- The average score of several indicators and sustainability index of saffron agroecosystems in Birjand and Qaen

سنجه Indicator	امتیاز کسب شده Score		امتیاز کسب شده (درصد) Score (%)	
	قاین Qaen	بیرجند Birjand	قاین Qaen	بیرجند Birjand
اجتماعی – اقتصادی Socio-economic	18.62	17.03	53.21	48.66
عملکرد Yield	9.29	4.80	61.90	32.00
کود و مواد شیمیایی Chemical and organic fertilizers	5.33	4.98	38.07	35.54
کنترل علف‌های هرز Weed control	0.50	0.50	33.33	33.33
آب و آبیاری Water and irrigation	5.56	5.34	30.90	29.66
شخم و مکانیزاسیون Tillage and machinery	4.43	3.18	35.43	25.46
دام Livestock	1.36	1.37	33.93	34.37
شاخص پایداری Sustainability Index	45.09	37.20		

مهدوی دامغانی (Mahdavi Damghani, 2005) گزارش کرد که امتیاز شاخص پایداری نظام‌های گندم- چغندرقند و گندم-پنبه در استان خراسان رضوی ۴۶/۱ بوده است. نتایج تحقیق ایروانی و دربان آستانه (Iravani & Darban Astaneh, 2004) در مورد گندم‌کاران استان تهران نشان می‌دهد که ۴۶/۷ درصد از نظام‌های بهره‌برداری در گروه‌های بسیار ناپایدار و ناپایدار، ۴۳/۶ درصد در گروه تاحدی پایدار و ۹/۷ درصد در گروه‌های پایدار و بسیار پایدار قرار دارند. همچنین نتایج حاصل از پژوهش حسن شاهی و همکاران، (Hasan Shahi et al., 2009) در خصوص ارزیابی وضعیت سطوح حفظ پایداری نظام زراعی گندم‌کاران تحت پوشش تعاونی‌های تولید استان فارس نشان داد که ۲۶/۷ درصد مزارع در سطح ناپایدار، ۴۳/۱ درصد مزارع در سطح نیمه پایدار و ۳۰/۲ درصد مزارع در سطح پایدار قرار دارند.

همان‌گونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، امتیاز به‌دست آمده از گروه سنجه‌های مکانیزاسیون در سطح پایینی بوده و معادل ۲۸/۳۱ درصد امتیاز سنجه است. فقط حدود ۹/۲ درصد از مزارع مورد مطالعه از دیسک و در ۳/۱ آن‌ها از لولر استفاده می‌شد. در مورد ادوات نهرکن و کولتیواتور به ترتیب ۶ و ۲۳/۴۷ درصد از مزارع مورد مطالعه از این ادوات استفاده می‌کردند. هیچ‌یک از کشت‌بوم‌های مورد مطالعه از ادوات کودپاش، سم‌پاش و ماشین کاشت بهره نبرده‌اند. در صورت استفاده از نهرکن برای حفر نهرهای آبیاری از هدر رفت آب جلوگیری به‌عمل می‌آید، همین‌طور در صورت استفاده از کودپاش و سم‌پاش در مصرف کود و سم صرفه جویی می‌شود که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است و از لحاظ زیست‌محیطی با اهداف کشاورزی پایدار هماهنگ می‌باشد.

همچنین با وجود مسئلهٔ وابستگی به نهاده‌های خارج از مزرعه، به نظر می‌رسد که مزایای کاربرد این نوع ماشین‌آلات کشاورزی از معایب آن‌ها بیشتر بوده و از امتیاز مثبتی برخوردار می‌شود. عدم کاربرد این ادوات سودمند در مزارع مانع از برخورداری صاحبان مزارع از مزایای ذکر شدهٔ فوق در صورت استفاده از آن‌ها می‌گردد.



شکل ۱- نمودار آمیبی سنجه‌های پایداری مزارع زعفران مورد مطالعه

Fig. 1- Amoeba graph of the sustainability indicators for under study saffron farms

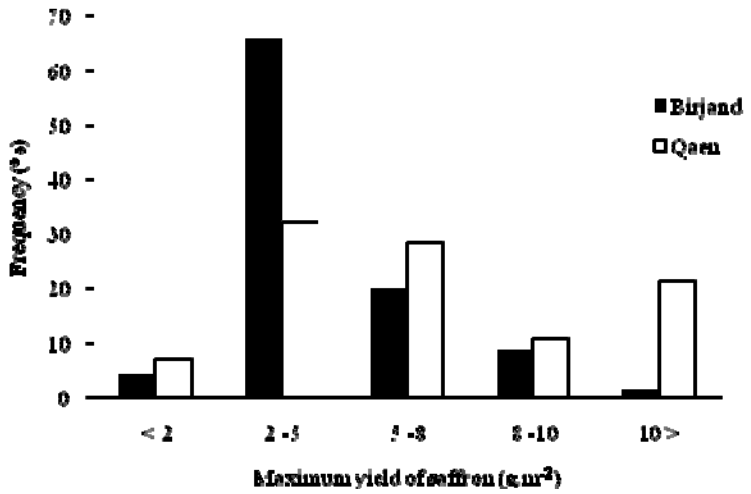
یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر امتیاز این گروه از سنجه‌ها نحوهٔ کاشت پیاز زعفران است. نوع کاشت غالب در مناطق مورد مطالعه کشت کپه‌ای و عدم استفاده از ماشین کاشت پیاز زعفران بوده است که منجر به دریافت امتیاز صفر از این سنجه گردید. بهنیا (Behnia, 2008) نیز در مطالعهٔ خود که طی مدت چهار سال به منظور بررسی اثرات روش کاشت و تراکم پیاز بر میزان عملکرد زعفران انجام گرفت، دریافت که با بالا رفتن سن مزرعهٔ زعفران روش کاشت بیشتر از تراکم بوته در عملکرد مؤثر می‌باشد و در روش کاشت ردیفی امکان ازدیاد بنه‌ها بیشتر از روش کاشت کپه‌ای فراهم بوده، عملکرد در این روش از روش کپه‌ای بیشتر بوده است.

علاوه بر گروه سنجه‌های مکانیزاسیون، امتیاز به‌دست آمده از گروه سنجه‌های آب و آبیاری نیز در سطح پایینی بوده است (شکل ۱). از دلایل پایین بودن این امتیاز، پایین بودن کارایی سیستم آبیاری مورد استفاده و در نهایت مصرف آب بیش از حد نیاز گیاه بود. سیستم مورد استفاده برای آبیاری در ۱۰۰ درصد مزارع مورد مطالعه در این طرح کرتی بوده که باعث شد هیچ‌یک از مزارع مورد مطالعه امتیاز این سنجه را که سه امتیاز از مجموع ۱۰۰ امتیاز شاخص پایداری را شامل بود، کسب ننمایند. نتیجهٔ به کارگیری چنین سیستم آبیاری ناکارآمدی در نظام‌های کشاورزی مورد مطالعه در این طرح بالا رفتن تلفات آب و به طور کلی میزان مصرف آب در زراعت زعفران شده است. میانگین مقدار مصرف آب آبیاری در مزارع مورد مطالعه در بیرجند حدود ۴۳۰۰ و در قاین حدود ۴۲۰۰ متر مکعب در هکتار در سال بوده است که نسبت به میزان مناسب مصرف آب در زراعت زعفران بالاتر بوده و هم از طریق استفادهٔ بی‌رویه از منابع طبیعی و هم از جنبهٔ وابستگی به نهاده‌ها موجبات ناپایداری نظام‌های کشاورزی مورد مطالعه را فراهم آورده است. از آن‌جا که کشور ما در منطقه‌ای کم‌آب و کم‌باران قرار دارد، باید از روش‌هایی برای آبیاری استفاده شود که با به‌کارگیری آنها بازدهی آب آبیاری افزایش یابد. نتایج بدست آمده از مطالعهٔ کریم زاده مقدم (Karimzade Moghadam, 2006) نشان داد که سیستم آبیاری تحت فشار در حالت کلی موجب افزایش کارایی مصرف آب و سود خالص نهایی در زراعت چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) می‌گردد.

کشاورزان زعفران‌کار مورد بررسی ۴۰/۵۴ درصد امتیاز مربوط به گروه سنجه‌های تولید محصول زراعی را به‌دست آوردند. میانگین حداکثر عملکرد کلالهٔ زعفران (عملکرد زعفران در سال‌های باروری زمین) در کل مزارع مورد مطالعه در این طرح ۵/۳ کیلوگرم در هکتار و به تفکیک در دو منطقه بیرجند و قاین به ترتیب ۴/۶ و ۶/۷ کیلوگرم در هکتار بوده است. توزیع فراوانی میزان حداکثر کلالهٔ تولیدی در واحد سطح برای دو منطقهٔ بیرجند و قاین در شکل (۲) نشان داده شده است.

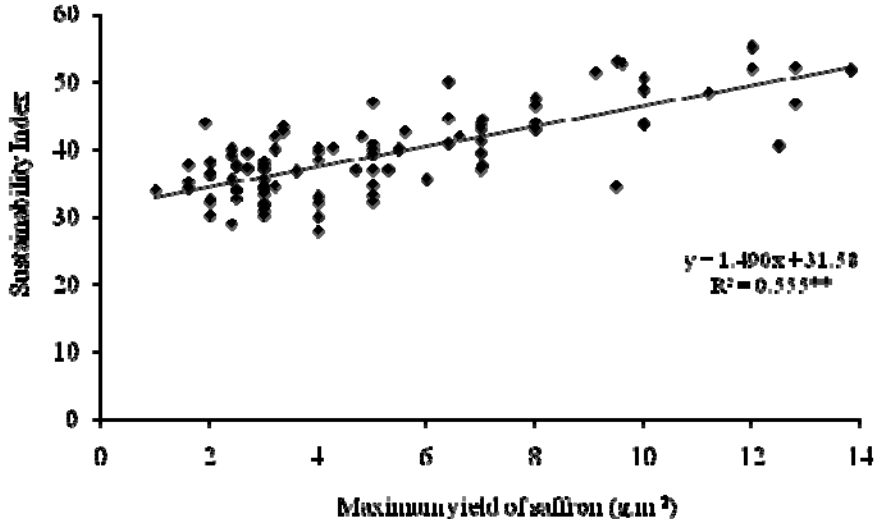
رابطهٔ رگرسیونی میان عملکرد کلالهٔ زعفران در مزارع مورد مطالعه با شاخص پایداری نهایی در این مزارع در هر دو منطقهٔ بیرجند و قاین در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار شد (شکل ۳).

نتایج پژوهش ایروانی و دربان آستانه (Iravani & Darban Astaneh, 2004) بیانگر رابطهٔ مثبت معنی‌دار میان میزان عملکرد در محصول گندم و پایداری نظام‌های بهره‌برداری گندم‌کاران استان تهران می‌باشد.



شکل ۲- حداکثر عملکرد زعفران (گرم بر متر مربع) در مزارع مورد مطالعه در دو منطقهٔ بیرجند و قاین

Fig. 2- Maximum yield of saffron under the study farms in both Birjand and Qaen regions



شکل ۳- رابطهٔ بین عملکرد زعفران (گرم بر متر مربع) و شاخص پایداری در مزارع مورد مطالعه

Fig. 3- Relation between saffron yield ($g.m^{-2}$) and sustainability index in the under study farms

آنان اظهار داشتند که تولید محصول می‌تواند انعکاسی از جنبه‌های اقتصادی و اکولوژیکی باشد که از یک طرف درآمد ناشی از آن نشانهٔ توجیه‌پذیر بودن آن از لحاظ اقتصادی و به‌تبع آن تشویق تولیدکننده برای فعالیت بوده و از طرفی مقدار تولید بیانگر وضعیت مناسب و پتانسیل بالای منابع مزرعه برای تولید می‌باشد.

(Amani & Chizari, 2006) در نتایج تحقیق خود در زمینهٔ پذیرش روش‌های کشاورزی پایدار کم‌نهاده دریافتند که بین عملکرد گندم و پذیرش روش‌های کشاورزی پایدار کم‌نهاده ارتباط مثبت و معنی‌دار وجود دارد. در واقع کشاورزانی که عملکرد بالاتری کسب نموده‌اند درک بیشتری از روش‌های کشاورزی پایدار داشته‌اند. حیاتی و کرمی (Hayati & Karami, 1999) در نتیجهٔ پژوهش خود بیان کردند که میزان کل تولید در محصول گندم با متغیر دانش کشاورزی پایدار، همبستگی مثبت و معنی‌دار داشته است.

عامل بسیار مهم و مؤثر بر پایین بودن امتیاز گروه سنجه‌های تولید، کسب امتیاز پایین از سنجهٔ مساحت مزرعهٔ زعفران می‌باشد که در این تحقیق جزء گروه سنجه‌های تولید لحاظ شده است. توزیع

فراوانی مساحت مزارع زعفران مورد مطالعه در جدول (۴) نشان داده شده است. وسعت مزرعه یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در درآمد بوده و علاوه بر آن با افزایش سطح زیر کشت محصول، امکان استفاده از ادوات کشاورزی و اعمال مدیریت صحیح در جهت اجرای روش‌های کشاورزی پایدار بالا می‌رود. از لحاظ نظری بهترین اندازهٔ واحد تولیدی، حجمی از تولید است که در آن هزینهٔ متوسط در حداقلِ خود باشد (Hoseinzade et al., 2009). به‌نظر می‌رسد کشاورزان خرده‌پا در مقابله با پیشرفت کشاورزی صنعتی قدرت اندکی دارند، مزارع کوچک نمی‌توانند از عهدهٔ تأمین مخارج روبه‌رشد تجهیزات و فناوری‌های زراعی برای رقابتی موفق در برابر مزارع بزرگ برآیند. همان‌گونه که ضریب همبستگی سطح زیر کشت محصول زعفران با شاخص پایداری در این طرح مثبت (R=۰/۶۲۳) و در سطح ۹۹ درصد معنی‌دارشد.

جدول ٤- توزیع فراوانی (درصد) مساحت در مزارع زعفران مورد بررسی

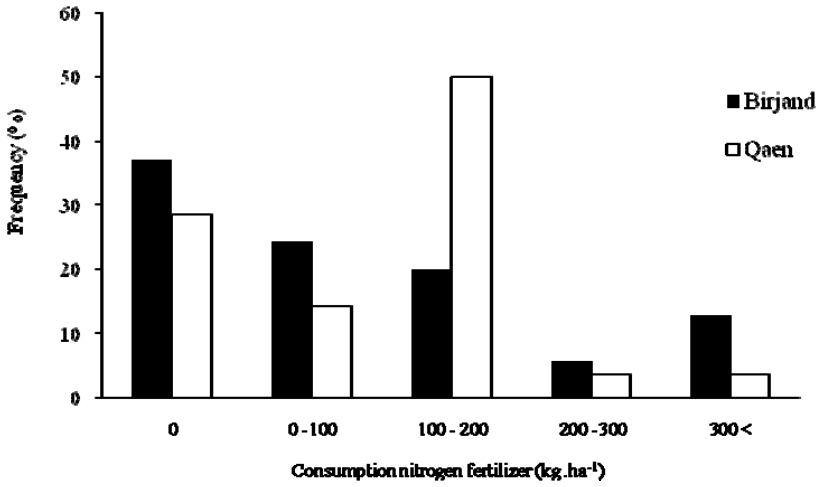
Table 4- Frequency distribution (percent) under the study saffron farms in both studied areas

میانگین mean	قاین Qean	بیرجند Birjand	مساحت (مترمربع) Area (m^2)
16.33	0	22.86	<1000
53.06	14.3	68.57	1000 -5000
22.45	60.7	7.14	5000-10000
8.16	25	1.43	> 10000

سنجه‌های گروه دام در این مطالعه در دو بخش تنوع گونه‌ای دامی و تولید محصولات دامی است. از چهار امتیاز سنجه‌های گروه دام (از مجموع ۱۰۰ امتیاز)، کشاورزان ۱/۳۷ (۳۴/۲۵ درصد) امتیاز به‌دست آورده‌اند. در بخش تنوع گونه‌ای دامی وجود دام و نیز تعداد انواع دام و در بخش تولید محصولات دامی تولید شیر و گوشت مد نظر قرار گرفته است. از آن‌جا که تلفیق سیستم‌های زراعی با دامداری می‌تواند باعث ثبات اقتصادی و محیطی شود، از این طریق با افزایش پایداری در مزارع در ارتباط است. به عنوان مثال فرآورده‌های دامی، تنوع اقتصادی را افزایش می‌دهند و راه‌های دیگری را برای فرآیندهای چرخش مواد که نتیجهٔ آن بسته‌تر شدن نظام زراعی است، فراهم می‌کند.

متوسط مصرف کود نیتروژن در بین کشاورزان مورد مطالعه که از کود نیتروژن در مزارع خود استفاده کرده‌اند در منطقهٔ بیرجند ۱۹۴و در منطقهٔ قاین ۱۳۳ کیلوگرم در هکتار می‌باشد، که در نهایت منجر به کسب ۲۱ و ۵۰ درصد امتیاز از سنجهٔ مصرف کود نیتروژن به ترتیب برای بیرجند و قاین گردیده است. توزیع فراوانی مصرف کود نیتروژن در کشت‌بوم‌های مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است.

زعفران گیاهی کم توقع است و همواره برای تولید حداکثر عملکرد فقط به میزان ناچیزی از عناصر غذایی نیاز دارد و به طور کلی نیاز زعفران به نیتروژن ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص، تقریباً معادل ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره می‌باشد (Kafi et al., 2002). مصرف مقادیر بالاتر از این عنصر در زراعت زعفران علاوه بر اینکه هدف زارع که همان افزایش محصول است را برآورده نمی‌کند، بلکه باعث ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی می‌گردد.



شکل ٤- توزیع فراوانی (٪) مصرف کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) در مزارع مورد مطالعه در دو منطقهٔ بیرجند و قاین

Fig. 4- Frequency distribution (%) consumption nitrogen fertilizer ($kg.ha^{-1}$) under the study farms in both Birjand and Qaen regions

از اینرو، با افزایش کاربرد این کود در زراعت زعفران میزان امتیاز پایداری این سنجه و در نهایت شاخص کلی پایداری کاهش می‌یابد. بنابراین، باید روش صحیح مدیریت کود که در آن حداکثر کارایی درنتیجهٔ کاربرد نهادهٔ کود حاصل می‌شود ترویج یابد؛ به گونه‌ای که در کنار مصرف کودهای شیمیایی از سایر منابع کودی با منشأ طبیعی مانند کودهای بیولوژیک و نیز کود دامی استفاده کرد تا درنتیجهٔ آن از مضرات مصرف زیاد مواد شیمیایی که تعادل اکولوژیکی نظام را برهم زده و در نهایت از پایداری نظام زراعی می‌کاهد، کاست. امیدی و همکاران (Omidi et al., 2009) اعلام کردند که با کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی، عملکرد کمّی و کیفی گیاه زعفران افزایش یافت.

به منظور تعیین نوع و میزان تأثیر سنجه‌هایی که بیشترین درصد تغییرات شاخص پایداری را توجیه می‌کنند با استفاده از روش آنالیز گام به گام در نرم افزار SPSS، فرآیند حذف متغیرهای غیر ضروری دنبال شد. بر همین اساس، مدل برآوردشده مربوط به شاخص پایداری در مزارع زعفران نمونه‌های منطقه تحقیق بر اساس معادله (۳) بود:

$$S.I.= 25.82 + (0.0049*A) + (0.00031*B) + (2.99*C) + (2.14*D) + (3.42*E) + (0.00000042*F) + (0.0005*G) + (2.54*H) + (1.29*I) + (0.0036*J) \quad \text{معادله (۳)}$$

که در این معادله، .S.I: شاخص پایداری، A: درآمد ناخالص از محصول زعفران، B: وسعت مزرعهٔ زعفران، C: آبیاری تابستانه، D: دسترسی به بیمه، وام و اعتبارات بانکی، E: وجود دام، F: سایر درآمدها، G: میزان مصرف آب، H: دسترسی به مروجین کشاورزی، I: دسترسی به کود، سم، بذر و نهاده‌های کشاورزی، J: انجام یکبار شخم مکانیکی می‌باشد. جدول ۵ مقادیر ضرایب برآورده شده الگوی فوق را به همراه آمارهٔ t استیودنت و سطح معنی‌داری آنها نشان می‌دهد. از میان سنجه‌های وارد شده در الگوی شاخص پایداری میزان مصرف آب دارای ضریب منفی بوده و مابقی سنجه‌های وارد شده ضریب مثبت دارند.

بر اساس اطلاعات جدول ۵ ضریب تعیین (R^2) مربوط به خط رگرسیون برازش شده برابر با ۰/۸۷ می‌باشد، مقدار ضریب مذکور نشان می دهد ۸۷ درصد تغییراتی که در شاخص پایداری (متغیر وابسته) به‌وجود می‌آید، توسط متغیرهای توضیحی مندرج در این جدول می‌باشد. مقدار برآورد شده ضریب مذکور در این تحقیق، بیانگر قدرت بالای توضیح‌دهی مدل برآوردی می‌باشد.

به منظور بررسی عدم نقض فروض کلاسیک رگرسیون خطی، آزمون‌های لازم انجام شد که نتایج آن حاکی از عدم خود همبستگی، ناهمسانی واریانس اجزاء اخلال و عدم هم‌خطی متغیرهای مستقل تحقیق می‌باشد. لازم به ذکر است به منظور صرفه جویی در فضا از ذکر مقادیر آزمون‌های مورد استفاده خودداری شده و فقط در جدول ۵ مقدارضریب Durbin-Watson رگرسیون که معادل ۱/۵۹ می‌باشد ذکر شده است که نشانگر عدم خود همبستگی اجزا اخلال می‌باشد. لازم به ذکر است که ارزش DW محاسباتی بین صفر و ۴ متغیر است و در صورتی که این آماره برای مدلی در اطراف دو برآورد گردد نشاندهنده عدم وجود خود همبستگی اجزاء اخلال در مدل می‌باشد.

جدول ۵- ضرایب برآوردشده الگوی شاخص پایداری با استفاده از آنالیز گام به گام

Table 5- Estimated coefficients of sustainability index pattern via from stepwise regression

	b	t-student	سطح معنی‌داری Significant level
ضریب ثابت عددی Constant	25.21	21.157	0.00
درآمد ناخالص از محصول زعفران Gross income from saffron yield	0.0049	15.062	0.00
وسعت مزرعهٔ زعفران Saffron farm size farms	0.00031	6.556	0.00
آبیاری تابستانه Summer irrigation	2.99	4.821	0.00
دسترسی به بیمه، وام و اعتبارات بانکی Availability insurance and loan	2.146	4.081	0.00
وجود دام Presence of livestock in farms	3.42	6.451	0.00
سایر درآمد Other incomes	0.00000042	4.184	0.00
میزان مصرف آب Water consumption	-0.0005	-2.809	0.01
دسترسی به مروجین کشاورزی Availability of agriculture extension service	2.54	3.667	0.00
دسترسی به نهاده‌های کشاورزی Availability of agricultural inputs	1.29	2.465	0.02
یکبار شخم مکانیکی Once plowing	1.36	2.119	0.04
R^2= 0.88	DW= 1.70		

نتیجه‌گیری

در گروه سنجه‌های کود و مواد شیمیایی در این مطالعه ۳۶/۲۶ درصد امتیاز این گروه به‌دست آمده است. افراط و گاهی تفریط در زمینهٔ استفاده از کودهای شیمیایی هر کدام عواقبی به‌دنبال دارد. انجام آزمایشات خاک مزرعه به منظور تعیین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و توصیه‌های کودی مناسب و همچنین استفاده از روش‌های بهینهٔ مصرف کود نظیر کاربرد ماشین کودپاش و تغییر الگوهای کوددهی به سوی الگوهایی که مصرف کمتر با کارایی بالاتر به همراه دارند باعث بهبود وضعیت این سنجه و نیز تولید عملکرد می‌گردد.

نوع سیستم آبیاری به کار رفته در تمامیکشت‌بوم‌های مورد مطالعه کرتی بوده که کارایی پایین آن کاملاً واضح است. از طرفی حفر چاه‌های عمیق به دلیل پایین بودن سطح آب‌های زیر زمینی و بهره‌برداری بی‌رویه بدون در نظر گرفتن توان جبران منابع نیز از عوامل مهم در پایین بودن امتیاز سنجه‌های گروه آب آبیاری و در نهایت شاخص پایداری نهایی شده است. سامان دادن وضعیت کانال-های انتقال آب در این مناطق و ترویج کاربرد روش‌های آبیاری با کارایی بالا (سیستم‌های آبیاری تحت فشار) البته با کمک‌های مالی و اعتباری دولت، به افزایش پایداری اینکشت‌بوم‌ها کمک می‌کند. در این زمینه بالا بودن هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه یکی از مشکلاتی است که در راه افزایش استقبال بهره‌برداران از آبیاری تحت فشار وجود دارد و باید گفت ناتوانی در پرداخت این هزینه‌ها از سوی بهره‌برداران، توسعهٔ کاربرد سیستم‌های آبیاری تحت فشار را با مانع روبرو کرده است. کوچک بودن زمین‌های زراعی مانعی بر سر راه کاربرد ادوات سودمند کشاورزی نظیر ماشین کاشت، کودپاش و سم‌پاش محسوب می‌باشد. به منظور حل مشکل وسعت کم مزارع زعفران در مناطق مورد مطالعه می‌توان با تشویق زعفران‌کاران به تشکیل تعاونی‌ها و تغییر مزرعه از حالت خرده‌مالکی به مدیریت یکپارچه در جهت افزایش اندازهٔ واحدهای زراعی اقدام کرد. با اینکار علاوه بر افزایش سطوح زیر کشت هر واحد زراعی امکان استفادهٔ مشترک از ادوات سنگین و سرمایه‌بر که تهیهٔ آن از عهدهٔ تک‌تک کشاورزان خارج می-باشد، فراهم شده و هزینه‌های تولید تا حد زیادی کاهش می‌یابد. از آنجایی‌که اندازهٔ بهینهٔ واحد کشاورزی متأثر از ساختار تولید، نوع محصولات، شرایط اقتصادی و اجتماعی هر منطقه می‌باشد، لذا بهتر است مطالعات مربوط به تعیین اندازهٔ بهینهٔ واحدهای تولیدی به طور اختصاصی برای محصول زعفران در هر منطقه صورت گیرد.

منابع

1- Afraz, A. 1997. Sustainability is not enough. Agricultural Economics and Development 18: 137-142.
2- Amani, A., and Chizari, M. 2006. Appointment social, economics and agricultural characteristics for wheat farmer Ahvaz, Dezful and Behbahan townships attention to Acceptance methods of Low Input Sustainable Agriculture (LISA). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 10(1): 107-119.
3- Behnia, M. 2008. Effect of planting methods and corm density in saffron (*Crocus sativus* L.) yield in Damavand region. Pajouhesh and Sazandegi 79: 101-108. (In Persian with English Summary)
4- Beus, C.E., and Dunlop, R.E. 1994. Agricultural paradigms and the practice of agriculture. Rural Sociology 59(4): 620–635.
5- Ghorbani, R. 2006. The Economics of saffron in Iran proceedings of the 2th International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran, 28-30 October 2006, 14 pp.
6- Gowda, M.J.C., and Jayaramaiah, K.M. 1998. Comparative evaluation of rice production systems for their sustainability. Agriculture, Ecosystems and Environment 69: 1–9.
7- Hansen, J.W. 1996. Is agricultural sustainability a useful concept? Agricultural Systems 50: 117–143.
8- Hasan Shahi, H., Iravani, H., and Kalantari, K.H. 2009. Evaluation status of maintenance levels sustainability agricultural system's wheat farmers member of production cooperation corporation Fars province. Journal of Economics Researches and Agricultural Development 40(2): 135-143. (In Persian)
9- Hayati, D. and Karami, E. 1999. Factors influencing agricultural knowledge and sustainability agricultural systems in Fars province. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 3(2): 21-34. (In Persian)
10- Hoseinzade, J., Aref Eshghi, T., and Dashti, G.H. 2009. Appointment farm optimum size Gilan province. Journal of Economics and Agricultural Development 23(2): 118-128. (In Persian)
11- Irvani, H., and Darban Astaneh, A. 2004. Measurement, analysis and exploitation of the sustainability of farming systems (case study: wheat production, Tehran province). Iranian Journal of Agricultural Sciences 35(1): 39-52. (In Persian with English Summary)
12- Kafi, M., Rashed Mohassel, M.H., Koocheki, A., and Mollafilabi, A. 2002. Saffron Production and Processing. Mashhad, Ferdowsi University Press. pp. 25-128.
13- Karimzade Moghadam, M. 2006. Investigating effect of irrigation systems on Performance water consumption and quantitative and quality sugar beet yield. Initial National Conference of Irrigation and Drainage Plexus p. 7. (In Persian)
14- Mahdavi Damghani, A. 2005. Systems approach to assessment of ecological sustainability for some of agricultural

systems in the Khorasan province. Ph.D. Thesis Faculty of Agriculture Ferdowsi University Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
15- Mahdavi Damghani, A., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Nassiri Mahallati, M. 2005. Ecological sustainability of a wheat-cotton agroecosystem in Khorassan. Journal of Iran Agricultural Researches 3(1): 129-142. (In Persian with English Summary)
16- Odum, E.P. 1989. Ecology and our endangered life-support systems. Sinauer Association Incorporation. Sunderland, Massachusetts. 363-365 pp.
17- Omidi, H., Naghdibadi, H., Gazad, A., Torabi, H., and Fotokian, M. 2009. Effect of chemical and organic fertilizer on quantitative and quality saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of medicinal plants 30: 98-109. (In Persian)
18- Rasul, G., and Thapa, G.B. 2003. Sustainability analysis of ecological and conventional agricultural systems in Bangladesh. World Development 10: 1721-1741.
19- Rigby, D., and Caceres, D. 2001. Organic farming and the sustainability of agricultural system. Agricultural Systems 68: 21–40.
20- Sands, G.R., and Podmore, T.H. 2000. A generalized environmental sustainability index for agricultural systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 79: 29–41.
21- Smyth, A.J., and Dumanski, J. 1993. An international framework for evaluating sustainable land management (FESLM). FAO World Soil Resource Report No. 73 and 74. Rome: FAO.
22- Tajiani, H., and Koopahi, M. 2005. An estimation of export demand and supply functions for Iranian saffron. Journal of Agricultural Sciences 36: 573-580. (In Persian with English Summary)
23- Tellarini, V., and Caporali, F. 2000. An input/output methodology to evaluate farms as sustainable agroecosystems: an application of indicators to farms in central Italy. Agriculture, Ecosystems and Environment 77: 111–123.
24- Tisdell, C. 1996. Economic indicators to assess the sustainability of conservation farming projects: an evaluation. Agriculture, Ecosystems and Environment 57: 117–131.
25- Van Ittersum, M.K., and Rabbinge, R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input–output combinations. Field Crops Research 52: 197–208.
26- Webster, P. 1999. The challenge of sustainability at the farm level: presidential address. Journal of Agricultural Economics 50(3): 371–387.

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 406

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 3، شماره 3، پاییز 1390، ص. 406

Effect of insufficient irrigation on plant dry mater and remobilization in three spring safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.)

M.A. Behdani[1]* and B.E. Mousavifar
Submitted: 18-12-2010
Accepted: 16-02-2011

Abstract

In order to investigate the effect of insufficient irrigation on remobilization percent and plant dry mater in three spring safflower (*Cartamus tinctorius* L.) genotypes, a field experiment was conducted at Research Farm, Faculty of Agriculture, the University of Birjand, Iran, during 2008-2009, as a spilt plot arrangement based on randomized complete block design with four replications. Irrigation regimes (full irrigation (whole season irrigation), irrigation until grain filling, irrigation until flowering, and irrigation until heading-bud) and genotypes (Mahali Isfahan (a local variety), Isfahan 28 and IL111) were arranged in main plots and subplots, respectively. Results showed that three safflower genotypes had different responses to different irrigation regimes in terms of total dry matter; leaf, stem and head dry mater in flowering and maturity stages, harvest index and percent of remobilization. With increasing duration of irrigation disruption, plant dry matter in all genotypes reduced, and reduction in these criteria in IL111 was the highest under conditions of irrigation until heading-bud. Furthermore, the share of remobilization to heads was increased by increasing duration of irrigation disruption. Among disruption irrigation levels, the highest and the lowest percentage of remobilization were obtained in irrigation until heading-bud and full irrigation stages, respectively. Moreover, IL111 genotype due to has higher harvest index, early maturity and increased senescence of leaves had the highest percent of remobilization from stem and other leaves. Based on the results, remobilization is an important way to compensate drought stress effects; it can be a proper characteristic of semi-dwarf cultivars in comparison with old cultivars. Grain yield can improve by increasing sink capacity which increase remobilization under terminal drought stress.

Keywords: Flowering, Harvest index, Irrigation, Maturity, Oil seed

1 and 2- Associate Prof., and MSc student (Young Researchers Club, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad) College of Agriculture, Birjand University Iran, respectively.
(*- Corresponding author E-mail: mabehdani@yahoo.com)

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 407

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 3، شماره 3، پاییز 1390، ص. 407

The effect of different crop plant densities on radiation absorption and use efficiency by corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropped canopy

L. Rostami[1]*, A. Koocheki[2] and M. Nassiri Mahallati[2]
Submitted: 22-12-2010
Accepted: 16-02-2011

Abstract

In order to determinate the effects of plant densities in intercropped corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on radiation absorption and use efficiency, an experiment was conducted at the Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad, Iran during growing season of 2007-2008. This experiment was conducted in low input system. A randomized complete block design with three replications was used. Treatments were included bean intercropping with corn in normal density of bean plus 10%, 20% and 30% excess bean C (B+10%), C (B+20%), C (B+30%), increasing in density bean intercropping with corn in normal density of corn plus 10%, 20% and 30% excess corn B (C+10%), B (C+20%), B (C+30%) and sole crops of corn (C) and bean (B). Results indicated that leaf area index, radiation absorption, total dry matter and radiation use efficiency of corn increased in all intercropped treatments compared to sole cropping, but it reversed for bean. It seems that complementary and facilitative effects of intercropping were more for corn. Range of corn and bean radiation use efficiency was from 1.92 $g.MJ^{-1}$ (in sole cropping) and 0.72 $g.MJ^{-1}$ {in (C+30%) (B+30%)} to 2.30 $g.MJ^{-1}$ {in C (B+30%)} and 1.45 $g.MJ^{-1}$ (in sole cropping), respectively.

Keywords: Leaf Area Index, Light absorption, Radiation Use Efficiency, Row-intercropping, Total dry matter

1 and 2- MSc student in Agroecology and Prof., College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, Respectively.
(*- Corresponding author E-mail: Li.rostami@yahoo.com)

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 408

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 3، شماره 3، پاییز 1390، ص. 408

Effect of different methods of soil fertility increasing via application of organic, chemical and biological fertilizers on grain yield and quality of canola (*Brassica napus* L.)

K. Mohammadi[1*], A. Ghalavand[2], M. Aghaalikhani[3] and A. Rokhzadi[1]

Submitted: 04-03-2011
Accepted: 24-06-2011

Abstract

Different resource of fertilizers had an effect on grain yield, oil and grain quality. Information regarding the effect of simultaneous application of organic, chemical and biological fertilizers on canola (*Brassica napus* L.) traits is not available. In order to study the effect of different systems of soil fertility on grain yield and quality of canola (Talayeh cultivar), an experiment was conducted at experimental farm of Agricultural Research Center of Sanandaj, Iran, during two growing seasons of 2007-2008 and 2008-2009. The experimental units were arranged as split plots based on randomized complete blocks design with three replications. Main plots consisted of five methods for obtaining the basal fertilizers requirement including (N_1): farm yard manure; (N_2): compost; (N_3): chemical fertilizers; (N_4): farm yard manure + compost and (N_5): farm yard manure + compost + chemical fertilizers; and control (N_6). Sub plots consisted four levels of biofertilizers were (B_1): *Bacillus lentus* and *Pseudomonas putida*; (B_2): *Trichoderma harzianum*; (B_3): *Bacillus lentus* and *Pseudomonas putida* and *Trichoderma harzianum*; and (B_4): control, (without biofertilizers). Results showed that basal fertilizers and biofertilizers have a significant effect on grain yield. The highest grain yield was obtained from N_5 treatment in which organic and chemical fertilizers were applied simultaneously applied. Basal fertilizers, biofertilizers have a significant effect on leaf chlorophyll. The highest nitrogen content (42.85 $mg.g^{-1}$) and least amount of (N/S) were obtained from N_5 treatment. The highest oil percent was obtained from N_1 and N_2 treatments and highest oil yield was obtained from N_5 treatment. Finally, application of organic manure and biofertilizers with chemical fertilizer led to an increase in yield and quality of canola grain.

Keywords: Biofertilizer, Compost, Farmyard manure, Oil

1, 2 and 3- Assistant Prof., Department of Agronomy, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Associate Prof., and Assistant Prof. from Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, respectively.
(*-Corresponding author E-mail: kh.mohammadi@modares.ac.ir)

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 409

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 3، شماره 3، پاییز 1390، ص. 409

Yield, yield components and nitrogen use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.) in mushroom compost, biological fertilizer and urea application

S.M. Seyedi[1] and P. Rezvani Moghaddam[2]*

Submitted: 04-03-2011
Accepted: 24-06-2011

Abstract

More nitrogen use efficiency in crops is important for maintaining and developing sustainable agriculture. In order to study the effect of different levels of mushroom compost and different resource of nitrogen on yield, yield attributes and nitrogen use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.), an experiment was conducted at Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, during 2009-2010. A completely randomized block design with three replications and 18 treatments was used. The experimental treatments were all combination of different levels of mushroom compost (0, 10, 20, 40, 80 and 160 $t.ha^{-1}$) and three different resources of nitrogen [control (no fertilizer), urea fertilizer (150 $kg.ha^{-1}$) and nitroxin biofertilizer (including *Azotobacter* sp. and *Azospirillum* sp.)]. Results indicated that dry matter, plant height, number of grains per plant, grain weight per plant and 1000 grain weight were increased significantly with gradually increasing levels of mushroom compost, while harvest index and nitrogen use efficiency were decreased with increasing mushroom compost levels. Grain weight and number of grains per plant and 1000 grains weight were increased 4.70, 2.98 and 1.56 times compared with control (without any fertilizer or any additives), respectively. In addition, results showed that urea fertilizer and nitroxin biofertilizer had significant effects on mentioned traits. However, results of present study suggest that nitroxin might not be suitable and successful biofertilizer to wheat production, if there is organic matter deficiency in the soil.

Keywords: Harvest index, Nitroxin biofertilizer, Organic fertilizer, Urea fertilizer

1 and 2- MSc Student in Agro-Ecology and Prof., College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author E-mail: rezvani@um.ac.ir)

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 410

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 3، شماره 3، پاییز 1390، ص. 410

Effects of *Azospirillum lipoferum* on seedling characteristics derived from sunflower (*Helianthus annus* L.) seed water deficit conditions

H. Hadi[1]*, N. Babaei[2], J. Daneshian[3], M.H. Arzanesh[4] and A. Hamidi[5]

Submitted: 10-03-2011
Accepted: 24-06-2011

Abstract

Seedling characteristics of different sunflower (*Helianthus annus* L.) cultivars under drought stress and inoculation with the *Azospirillum lipoferum* in a spilt-factorial layout based on randomized complete block design with three replications were evaluated. Treatments included dehydration stress (seed produced on maternal plants which irrigated after 60 (desirable irrigation), 120 (medium stress), 180 mm (severe stress) evaporation from evaporation pan class A), different sunflower cultivars (Lakomka, Master, Favorite, Soor and Armavirosky) and inoculation with bacteria (*Azospirillum lipoferum* and control). Bacteria allocated in the main plots and seeds which derived from dehydration stress conditions and different cultivars were allocated in sub plots as a factorial layout. Results showed that the time of seedling emergence, seedling vigor index, leaf petiole, stem and seedling dry weight were increased 14, 44, 30, 31, 22 and 27 percent by inoculating with bacteria, respectively. The percent of Seedling emergence of seeds derived from medium stress 48 percent was more than optimal irrigation conditions. Final appearance, speed of emergence, emergence index, dry weight and stamina seedling resulting from severe stress conditions were decreased compared with optimal irrigation. Seedling emergence of seeds derived from medium stress which inoculated with bacteria increased by 9 percent. Emergence speed index, appearance, stamina and seedling dry weights of seeds which inoculated with bacteria increased at medium and sever water stress. With consideration of the effect of dehydration stress on germination and seedling emergence, seed inoculation with bacteria improved seedling emergence and seedling vigor of seeds derived from dehydration stress conditions.

Keywords: Growth stimulus, Seedling dry weight, Seedling emergence, Seedling healthy

1, 2, 3, 4 and 5- Young Researchers Club, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Young Researchers Club, Rudehen Branch, Islamic Azad University, Rudehen, Assoc. Prof., Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Oil Seeds Branch, Karaj, Assist. Prof. Agricultural Research Center, Golestan Province, Assist. Prof., Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Karaj, Iran, respectively.
(*- Corresponding author E-mail: hamedhadi9@yahoo.com)

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 411

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 3، شماره 3، پاییز 1390، ص. 411

An evaluation of the impact of the endophyte fungus *Piriformospora indica* on some traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) in drought stress

M. Ghabouli[1], F. Shahriary[2], M. Sepehrin[3], H. Marashi[4] and G. Hosseini Salekdeh[5*]

Submitted: 15-03-2011
Accepted: 24-06-2011

Abstract

Microbial endophytes, which make one of the most important classes of soil microorganisms, induce genetic, physiological and ecological alterations in their host plant and thus increase its yield and enable its cultivation in saline or dry soils or in climates facing biotic and abiotic stresses. The endophyte fungus *Piriformospora indica* exhibits a high effect in plant growth and increased resistance against environmental tensions like drought and salinity, as well as against phytopathogens. This work was intended to study the potential of *P. indica* in enhancing growth and elevating drought resistance in barley (*Hordeum vulgare* L.) during 2010. A greenhouse trial of completely randomized design with two fungal treatments (inoculated vs. non-inoculated) and three drought levels (F.C., 50% F.C. and 25% F.C.) with four repeats was conducted in greenhouse of Agricultural Biotechnology Research Institute (Isfahan). The results indicate that the fungus *P. indica* has accompanied biomass increments of both shoot and root parts in the inoculated plant compared to the control, as in inoculated plant, total shoot dry weight and root dry weight were increased by 39 and 46 percent, respectively. Also, in stress conditions RWC in inoculated plant was greater. In addition to the growth increasing activity, the effective role of the fungus in enhancing barley growth and yield under drought conditions (especially at the 25% F.C. level) is evident. According to the results, and to the fact that the fungus can be cultured on artificial (host-plant-free) growth medium, this fungus can be contemplated as making a growth stimulating agent and in producing biological fertilizer for use in crops; and it might take a significant role toward a sustainable agriculture. The application of this fungus can also be beneficial in increasing growth and production of crops such as barley and wheat under the dry conditions widely encountered in Iran.

Keywords: Environmental stress, Inoculation, Mycorrihzal fungi, Sustainable agriculture

1, 2, 3, 4 and 5- PhD student in Plant Breeding and Biotechnology and Associate Prof., Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Assistant Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Assistant Prof., Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Associate professor, Agricultural Biotechnology Research Institute of Karaj, Iran, respectively.
(*-Corresponding author E-mail: h_salekdeh@abrii.ac.ir)

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 412

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 3، شماره 3، پاییز 1390، ص. 412

Evaluating effect of biofertilizer on nodulation and soybean (*Glycine max* L) plants growth characteristics under water deficit stress of seed

M. Tajik Khaveh[1]*, I. Alahdadi[2], J. Daneshian[3] and O. Armand Pishe[4]

Submitted: 09-04-2011
Accepted: 24-06-2011

Abstract

In order to evaluate the effects of biofertilizer on soybean (*Glycine max* L.) seed vigor that produced under water deficit condition and related traits, an experiment was conducted in a factorial layout based of complete randomized block design with four replications at the research greenhouse of Aboureihan campus- Tehran University, Iran. Experimental treatments were include biofertilizer (seed inoculation with *Bradyrhizobium japonicum*, co-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and *Pseudomonas fluorescens*, co-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and *Glomus mosseae*), Cultivar (Zalta Zalha and Clark×Hobbit line) and water deficit stress [irrigation plants after 50 (normal irrigation), 100 (medium stress), 150 (sever stress) mm evaporation from pan class A, in parents field]. Results showed that the water deficit stress had negative effects on seed quality and seedling emergence percentage, mean daily seedling emergence, root, leaf and shoot dry weight, number of nodule were decreased. ZaltaZalha cultivar had higher shoot dry weight and number of leaf compared with other cultivars. Applications of biofertilzer was effective on stem diameter, root, leaf and shoot dry weight, number of leaf and nodule and those attributes increased by co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and *Glomus mosseae*. Also, use of biofertilizer in stress levels was effective on stem dry weight. Stem dry weight was increased by Co-inoculation of cultivar seeds with *Bradyrhizobium japonicum* and *Glomus mosseae*.

Keywords: *Glomus mosseae*, Seedling emergence percentage, Seed quality

1, 2, 3 and 4- PhD Student of Agronomy, Aboureyhan Campus, University of Tehran, Assoc. Prof., of Aboureyhan Campus, University of Tehran, Assoc. Prof. of Seed and Plant Improvement Research Institute, PhD Student of Crop Physiology, Ferdowsi University, Iran, respectively.
(*- Corresponding author E-mail: mtajik@ut.ac.ir)

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 413

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 3، شماره 3، پاییز 1390، ص. 413

Biodiversity of carabidae beetles (Coleoptera: Carabidae) in agroecosystems of Azadshahr region, Golestan province, Northern Iran

M. Rezaye-Nodeh[1], A. Afshari[2*], M. Yazdanian[2] and G.H. Assadeh[3]

Submitted: 14-04-2011
Accepted: 24-06-2011

Abstract

Ground beetles (Family Carabidae) with more than 40,000 described species worldwide are one of the most important generalist predators in agroecosystems. Because of their habit of feeding on agricultural pests and weed seeds, in this study we tried to assess their biodiversity in agroecosystems of Azadshahr region, eastern Golestan province. Samples were collected for some main crops, using pitfall traps during 2009 and 2010 and two indices, including Simpson's reciprocal index and Shannon-Weaver index were used to measure diversity and structure of the community. Results showed that there were a high species richness of ground beetles in this region and 24, 22, 18, 18 and 12 species were identified in rape seed, wheat, tomato, broad bean and soybean fields, respectively. Dominant species in these crops were *Harpalus distinguendus* Duftchmid, *Agonum dorsale* (Pontoppidan), *Poecilus cupreus* (L.), *Agonum dorsale* (Pontoppidan), and *Harpalus rufipes* (De Geer), respectively. The values of Shannon and Simpson indices in these ecosystems were 2.16, 2.57, 1.81, 2.22 and 2.00, and 4.93, 10.09, 4.21, 6.16 and 6.12, respectively. The highest (7.1±0.85) and the lowest (0.45±0.12) numbers of beetles were captured in margins of rape seed and soybean fields, respectively.

Keywords: Community, Conservation, Ground beetles, Shannon-Weaver, Species richness

1, 2, 3- Graduated MSc. Student of Entomology, Assistance Professor of Entomology and M.Sc. of Entomology, Plant Protection Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively.
(*- Corresponding author E-mail: Afshari@gau.ac.ir)

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 414

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 3، شماره 3، پاییز 1390، ص. 414

Effects of elevated carbon dioxide concentrations on some morphological and physiological characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.) and amaranthus (*Amaranthus retroflexus* L.)

M.Goldani[1]*, M. Nasiri Mahllati[2], and M. Shoor[3]

Submitted: 19-04-2011
Accepted: 24-06-2011

Abstract

Carbon dioxide is the most important resource for crop growth. In order to investigate the effect of elevated CO_2 concentration on morphological and physiological characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.) and amaranthus (*Amaranthus retroflexus* L.) an experiment was conducted in greenhouse conditions. The experiment was factorial based on randomized complete block design with six treatments and three replications. Different CO_2 concentrations (including 360, 520 and 750 ppm) on monoculture and mixture of two species were investigated. The results indicated that plant height, node number, internode and stem dry weight had significant differences in the CO_2 concentrations. Elevated CO_2 concentration caused increasing plant height, node number, internode and stem dry weight in sesame and monoculture was better than mixtures, but in the amaranthus, elevated CO_2 concentration resulted is decreasing plant height, node number, and internode and stem dry weight. Number and length of branches and their dry weight had significant different in CO_2 concentrations. So, effect of elevated CO_2 concentration was positive for sesame and negative for amaranthus. In amaranthus, monoculture was more successful than mixture. In the sesame, yield was included number and weight capsule and in the amaranthus was included total seed weight, that both had significant affected. Elevated CO_2 concentration had positive effect on yield of sesame and negative effect on yield of amaranthus. In the sesame, monoculture was more successful. The effect of elevated CO_2 concentration was significant on transpiration and photosynthesis rates. In the sesame, elevated CO_2 concentration increased transpiration and photosynthesis rates and decreased them in the amaranthus. In the sesame, shoot total length and root dry weight was significantly different in CO_2 concentrations and increased by elevated CO_2 concentration, but in the amaranthus, decreased by elevated CO_2 concentration. In the both species, monoculture was more successful. R/S ratio had significant difference in CO_2 concentration. In the sesame, elevated CO_2 concentration decreased, but in the amaranthus increased. However, results showed that elevated CO_2 concentration in the sesame as a C_3 and thermophilic plant, resulted in successful growth and production. In the amaranthus, there was not effect by elevated CO_2 concentration, but high temperature due to elevated CO_2 concentration caused short growth season and decreased production.

Keywords: Crop, Inter-species competition, Intra-species competition, Weed

1, 2 and 3- Assistant Prof., Prof., and Assistant Prof., College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author E-mail: Morteza_goldani@yahoo.com)

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 415

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 3، شماره 3، پاییز 1390، ص. 415

Effects of freezing stress on electrolyte leakage of Persian shallot (*Allium altissimum* Regel.) under controlled condition

Shahram Rezvan beydokhti[1*], A. Nezami[2], M. Kafi[3] and H.R. Khazaei[2]

Submitted: 20-04-2011
Accepted: 24-06-2011

Abstract

In order to evaluate the effect of freezing stress on electrolyte leakage of three Mooseers' (*Allium altissimum* Regel.) ecotypes (Shirvan, Kalat and Tandoureh), a factorial experiment based on completely randomized design with three replications was carried out under the controlled conditions in the Faculty of Agricultural, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, during 2009. Plants were grown in natural conditions to acclimate with the growth condition, and then at two growth stages of emergence and seedling were transferred to the thermogradiant freezer with the six freezing temperatures (0,-4, -8,-12, -16 and -20 ^{o}C). Cell membrane integrity was measured by electrolyte leakage (EL) index and the lethal temperature 50% (LT50) of samples were determined based on this index. The results showed that electrolyte leakage percentage and $LT50_{el}$ were significantly affected by experimental treatments. As the temperature decreased, EL (%) of leaf, bulb and root of all ecotypes was significantly increased. In the all freezing temperatures, the highest and the lowest electrolyte leakage was observed in the root and leaf in the emergence stage. Shirvan ecotype at two growth stage (emergence and seedling) showed the highest root electrolyte leakage and hence showed the lowest freezing tolerance in comparison with Kalat and Tandoreh ecotypes. The lowest and highest $LT50_{el}$ due to freezing were observed in Kalat, Tandoureh ecotype and Shirvan ecotype, respectively. At seedling stage, Shirvan ecotype's root showed the highest $LT50_{el}$ which was more sensitive to freezing temperatures in comparison with leaf and bulb. Among all ecotypes, Kalat and Tandoreh ecotypes showed the lowest electrolyte leakage percentage, the lowest $LT50_{el}$ and the most tolerance to the freezing stress.

Keywords: Electrolyte leakage, Growth stage, Lethal temperature (LT50)

1, 2 and 3- PhD student of Ferdowsi University of Mashhad (Member of staff, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Damghan, Iran), Associate Prof., and Prof., College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*-Corresponding author E-mail: S.Rezvan@damghaniau.ac.ir)

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 416

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 3، شماره 3، پاییز 1390، ص. 416

Study of the yield and its components of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic and inorganic fertilizers using and their residue

A. Ahmadian[1]*, A. Ghanbari[2] and B. Siahsar[2]

Submitted: 20-04-2011
Accepted: 24-06-2011

Abstract

Management of organic and inorganic fertilizer application and residual of them are very important in their effect on environment and plant yield. In order to determine the effect of drought stress and different amendments on flower, essential oil and Chamazulene yield and its components of *Matricaria chamomilla* L., this study was conducted as a split plot design with three replications, at Agricultural Research Station of Zabol University, Iran, during two growing seasons of 2007-2008 and 2008-2009. Treatments included W_1 (non stress), W_2 (75% FC) and W_3 (50% FC) as main plot and three kind of residual's fertilizers: F_1 (non fertilizer), F_2 (chemical fertilizer), F_3 (manure) and F_4 (compost) as sub plot that using in the first year. Results showed that water stress at W3 treatment reduced dry and fresh flower yield at both years. Low drought stress increased essential oil and Chamazulene yield however high drought stress decreased these variable. Chemical fertilizer caused to make the highest yield and essential oil in the first year, but in the second year, that had no different with control treatment (without fertilizer). The residue of animal manure and compost enhanced flower, oil and Chamazulene yield at the second year. In addition, animal manure and compost under drought stress in first year and under all water conditions in second year reached to the best quantitative and qualitative yield and application of them was recommendable.

Keywords: Animal manure, Compost, Chamazulene, Essential oil

1, 2 and 3- Assistant Prof., Department of Plant Production, Higher Education Center of Torbat-e- Heydarieh, Prof. and Assistant Prof., College of Agriculture, Zabol University, Iran, respectively.
(*- Corresponding author E-mail: myarash59@gmail.com)

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 417

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 3، شماره 3، پاییز 1390، ص. 417

Evaluation of sustainability in saffron agroecosystems in Birjand and Qaen counties

Z. Hatami Sardashti[1]*, M. Jami Al-Ahmadi[2], A.M. Mahdavi Damghani[3] and M.A. Behdani[2]

Submitted: 20-04-2011
Accepted: 24-06-2011

Abstract

This research was conducted during 2009 at a regional scale in Birjand and Qaen counties, Southern Khorasan, as an attempt to develop a sustainability index (SI) for quantifying the sustainability of saffron agroecosystem. The information of these agroecosystems, including socio-economic, agronomic and ecological indicators was collected using questionnaires and was subjected to statistical analysis. The average SI in these agroecosystems was 39.46 for whole studied region, and 37.20 and 45.09 for Birjand and Qaen, respectively. These low indices show the undesirable sustainability condition of saffron agroecosystems. In general, only 9.18 percent of all farmers achieved to a SI equal to or more than 50 and the highest score was 55.12. Among all indicators, the lowest obtained values of total for each indicator was belong to the tillage and machinery (28.31%), and water and irrigation (30.01%). The stepwise regression analysis indicated that most important factors determinaning SI for these agroecosystems were presence of livestock in farms, summer irrigation, availability of agricultural promoter, availability of insurance and loan, once plowing, availability agriculture inputs, the gross income from saffron yield, saffron farm size, other incomes, and water consumption. Resulted coefficient from the stepwise analysis for above factors respectively consist of: 3.42, 2.99, 2.54, 1.36, 1.29, 0.0049, 0.00031, 0.00000042 and -0.0005.

Keywords: Indicator, Sustainable agriculture, Sustainability index

1, 2 and 3-MSc graduated Student in Agroecology, Assistant Prof., College of Agriculture, Birjand University, and Assistant Prof., Department of Environmental Science, Shahid Beheshti University, Iran, respectively.
(*- Corresponding author E-mail: Zahra.hatamy@yahoo.com)