مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی
جلد چهارم، شماره دوم، نیمه دوم ۹۰
۱۳۹-۱۵۰

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

تأثیر متانول بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تنش خشکی

سعید رضا حسین‌زاده[1*]، اعظم سلیمی[2]، علی گنجعلی[3]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلّم تهران؛ ۲. استادیار دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلّم تهران
۳. استادیار دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۲۷

چکیده

آب قابل دسترس، عامل اصلی محدود کننده رشد و تولید محصول در مناطق خشک می‌باشد. نتایج بررسی‌ها مؤید این است که محلول‌پاشی متانول نقش مؤثری در تحمل به خشکی گیاهان ۳ کربنه دارد. در این راستا به منظور بررسی اثر محلول پاشی متانول بر خصوصیات مورفولوژیکی نخود (رقم کرج) در شرایط تنش خشکی آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شهریور سال ۹۰ در پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد به اجرا درآمد. دو فاکتور مورد آزمایش عبارت بودند از عامل خشکی، شامل تنش خشکی (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و بدون تنش خشکی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، و محلول‌پاشی متانول با ۵ سطح، شاهد (بدون محلول پاشی)، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درصد حجمی، که محلول‌پاشی ۳ بار طی فصل رشد گیاه و با فواصل ۱۰ روز صورت گرفت. نتایج نشان داد بین سطوح مختلف متانول اختلاف معنی داری از نظر ارتفاع بوته، تعداد و طول شاخه در بوته، وزن خشک اندام هوایی، سطح و تعداد برگ، وزن خشک ریشه، سطح و طول ریشه اصلی و نسبت سطح ریشه به سطح برگ وجود داشت ($P \leq 0.01$). محلول‌پاشی با سطح ۲۵ درصد حجمی، موجب افزایش معنی‌داری در میزان ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، سطح و تعداد برگ، وزن خشک ریشه و سطح ریشه‌ها نسبت به دیگر سطوح شد. اثرات متقابل تنش خشکی و متانول تأثیر معنی-داری ($P \leq 0.05$) بر میزان وزن خشک اندام هوایی، تعداد برگ، سطح برگ و وزن خشک برگ داشت. به طور کلی می‌توان کاربرد محلول‌پاشی ۲۵ و ۳۰ درصد حجمی متانول را برای افزایش عملکرد در گیاه نخود توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: **محلول پاشی، خصوصیات اندام هوایی، خشکی، عملکرد ریشه**

مقدمه

نخود در سطح جهان، سومین (Jalota et al., 2007)، و در ایران پس از لوبیا مهم‌ترین محصول حبوبات به شمار می‌رود، به طوری که در ایران از نظر سطح زیر کشت و تولید، رتبه اول را در میان دیگر حبوبات دارا می‌باشد (Parsa et al., 2008). نخود یکی از مهم‌ترین منابع پروتئینی در رژیم غذایی بسیاری از کشورهای در حال توسعه می‌باشد و عمدتاً در نظام‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه خشک کشت می‌شود. خصوصیاتی همچون توانایی تثبیت نیتروژن، ریشه‌دهی عمیق و استفاده مؤثر از نزولات جوی سبب شده که این گیاه نقش مهمی در ثبات تولید نظام‌های زراعی ایفا کند (Singh and Saxena, 1984).

تنش خشکی یکی از معمول‌ترین تنش‌های محیطی است که کاهش عملکرد نخود تحت تأثیر این شرایط، تقریباً حدود ۲۵٪ برآورد شده است (Boyer, 1987). نخود گیاهی ۳ کربنه است که تحت گرمای شدید، تنش آبی و نور زیاد به علت کاهش غلظت CO_2 داخلی برگ‌ها و افزایش غلظت اکسیژن، تنفس نوری انجام می‌دهد. تنفس نوری می‌تواند تا ۲۰ ٪ سبب اتلاف کربن در گیاهان شده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد شود (Fall et al., 1996). در تحقیقات انجام شده، کاربرد متانول به عنوان یک منبع کربن برای گیاهان زراعی رواج پیدا کرده است (Benson et al.,1994; Downie et al., 2004)، زیرا گیاهان می‌توانند متانول محلول‌پاشی شده بر روی برگ‌ها

نگارنده پاسخگو: سعید رضا حسین‌زاده. آدرس: تهران- دانشگاه تربیت معلّم- دانشکده علوم.
پست الکترونیک: hossinzadeh_tmu@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

را به راحتی جذب کرده و آن را به عنوان منبع کربنی اضافه بر کربن اتمسفر مورد استفاده قرار دهند. متانول در مقایسه با CO_2 مولکول نسبتاً کوچک‌تری است که به راحتی توسط گیاهان، جذب شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gout et al., 2000). متانول طبیعی که در برگ‌ها بر اثر فعالیت آنزیمی پکتین متیل استراز در فرایند گسترش دیواره سلولی ایجاد می‌شود، می‌تواند موجب افزایش تولید سیتوکینین و تحریک رشد گیاه شود (Holland et al., 1997). در اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی گزارش شد که کاربرد محلول‌های متانول روی قسمت‌های هوایی گیاهان زراعی باعث افزایش عملکرد، تسریع در رسیدگی، کاهش اثر تنش خشکی و کاهش نیاز آبی آن‌ها می‌شود (Nemecek et al., 1995). بررسی بر روی بادام زمینی نشان داد که محلول‌پاشی ۲۰ درصد متانول باعث افزایش عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه و مقدار پروتئین دانه شد (Vyshkayy et al., 2008). کاربرد محلول‌پاشی متانول در سطح ۲۵ درصد، بیشترین افزایش محصول سویا را در پی داشت (Li et al., 1995). همچنین مطالعات بر روی گیاهان گوجه فرنگی، لوبیا، چغندرقند و کلزا نشان داد گیاهانی که با متانول ۳۰ درصد محلول پاشی شدند ۱۲ تا ۱۳ درصد محصول بیشتری نسبت به گیاهان شاهد تولید کردند (Zebic et al., 2003). مطالعات نشان داد که محلول‌پاشی متانول در برخی از گیاهان سه کربنه موجب افزایش سرعت رشد و شاخص برداشت و محصول گیاهان زراعی فاریاب در مناطق خشک می‌شود (Nonomura et al., 1992). در مطالعه بر روی گوجه فرنگی، مشاهده شد محلول پاشی متانول موجب افزایش وزن ساقه و ریشه شد (Row et al., 1994). بررسی‌های انجام شده در مناطق خشک پاکستان نیز نشان داد، که محلول‌پاشی متانول ۳۰ درصد در گیاه پنبه موجب افزایش ارتفاع و محصول دانه پنبه می‌شود (Makhduma et al., 2002). در اثر کاربرد متانول در کمربند پنبه آمریکا محصول پنبه ۵۰ درصد افزایش یافت و همچنین سطح و قطر برگ‌های تیمار شده با متانول، افزایش یافت (Mauney and Gerik, 1994). در بررسی دیگر، کاربرد متانول بر روی پنبه موجب دو هفته زودرسی، افزایش گره‌های بارور و وزن غوزه‌ها و نیز افزایش ماندگاری آن‌ها شد (Arizona Department of Agriculture, 1993). در بررسی که روی نیشکر انجام شد، دریافتند کاربرد متانول موجب افزایش محتوی سیتوکنین شد (Madhian et al., 2002). به طور کلی بررسی‌ها نشان می‌دهد که مصرف متانول در اغلب گیاهان زراعی موجب افزایش راندمان مصرف آب، کاهش تنفس نوری، افزایش سطح و دوام برگ و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود (Rowe et al., 1994; Benson et al., 1994). با توجه به نقش متانول در افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی، هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر متانول بر بهبود تحمل به تنش خشکی در گیاه نخود می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی متانول بر روی خصوصیات مورفولوژیکی نخود (رقم کرج)، آزمایشی در شهریور ۱۳۹۰ در پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای مورد بررسی در آزمایش، محلول‌پاشی متانول در ۵ سطح شامل شاهد (بدون محلول‌پاشی) و ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درصد حجمی متانول که به هرکدام از محلول‌ها دو گرم در لیتر گلیسین اضافه شد. افزودن گلیسین به محلول آبی متانول سبب جلوگیری از صدمات ناشی از سمیت متانول می‌شود. عامل خشکی شامل شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش خشکی (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه درصد رطوبت وزنی خاک در اغلب مناطقی که نخود به صورت دیم کشت می‌شود (استان خراسان)، تقریباً معادل درصد رطوبت وزنی خاک در زمانی است که ظرفیت گلدانی ۲۵ درصد است (Rahbarian et al., 2011)، بنابراین این سطح تنش برای بررسی انتخاب شد. هر گلدان دو کیلوگرمی به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. برای تهیه خاک هر گلدان، خاک تهیه شده ابتدا از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و به میزان ۲ کیلوگرم در هر گلدان ریخته شد. بافت خاک مورد استفاده شنی لومی بود که خصوصیات آن در جدول ۱ نشان داده شده است. گلدان‌ها در اتاقک رشد با درجه حرارت روز و شب به ترتیب ۲۵ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در هر گلدان ۵ عدد بذر کشت شد و پس از سبز شدن به ۳ عدد گیاهچه در هر گلدان کاهش یافت. تیمار تنش خشکی بر اساس درصد رطوبت وزنی اعمال شد و از طریق توزین گلدان‌ها و تأمین کسری

Archive of SID

www.SID.ir

رطوبت مورد نیاز، میزان رطوبت گلدان‌ها در طول دوره رشد به طور ثابت حفظ شد. محلول‌پاشی ۳ بار طی فصل رشد گیاه و با فواصل زمانی ۱۰ روز صورت گرفت. اولین محلول‌پاشی طی مرحله رویشی در ۲۱ شهریور ماه به فاصله ۴ هفته پس از کاشت و محلول‌پاشی‌های دیگر به ترتیب در اوایل گل‌دهی و اوایل غلاف‌دهی انجام شد. محلول‌پاشی به این صورت انجام گرفت که بر روی تمام قسمت‌های بوته نخود قطرات محلول جاری شد به طوری که اندام‌های هوایی خیس شدند. محلول‌پاش دارای حجمی حدود ۱/۵ لیتر بود و سعی شد در ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری بالای بوته‌ها قرار داده شود. زمان محلول‌پاشی در ساعت ۸ تا ۹ صبح در روزهای تعیین شده انجام شد. محلول‌پاشی گیاهچه‌ها تا زمان جاری شدن قطره‌های محلول روی برگ ادامه یافت. در پایان دوره رشد، نمونه‌برداری به صورت تخریبی انجام شد و بخش هوایی از ریشه گیاه تفکیک شد. صفات مورفولوژی اندام هوایی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، میانگین طول شاخه‌های جانبی، وزن تر و خشک اندام هوایی، تعداد و سطح برگ و وزن خشک برگ اندازه‌گیری شدند. صفات ریشه شامل سطح ریشه، طول ریشه اصلی، مجموع طول ریشه‌ها، وزن خشک ریشه، نسبت سطح ریشه به سطح برگ و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی نیز اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس وزن آن‌ها با ترازوی AND مدل GT-300 ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. سطح برگ‌ها توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter) ساخت شرکت ADC انگلستان مدل Light Box تعیین شد. در خصوص صفات مربوط به ریشه مانند طول، سطح و قطر، پس از این که ریشه‌ها به مدت ۳ الی ۵ دقیقه در محلول بنفش رنگ پرمنگنات منیزیم قرار گرفتند، پس از مشاهده تغییر رنگ ریشه‌ها آن‌ها را خارج کرده و سپس توسط دستمال کاغذی کاملاً خشک شدند و در نهایت با استفاده از دستگاه اسکنر متصل به کامپیوتر (دستگاه اندازه گیری صفات مربوط به ریشه) ساخت شرکت Delta-T انگلستان اندازه‌گیری شدند. داده‌ها پس از جمع‌آوری توسط نرم افزار Mstat-C تجزیه واریانس شدند و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) مقایسه شدند.

جدول ۱. خصوصیات خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Soil characteristics used in the experiment

اسیدیته	هدایت الکتریکی	نیتروژن	پتاسیم	سدیم	فسفر	رس	سیلت	شن
pH	EC	N	K	Na	P	Clay	Silt	Sand
	$ds.m^{-1}$	%	ppm			%		
7.9	1.2	0.56	6.138	0.59	35	8.88	36	55.12

نتایج و بحث

صفات مربوط به ساقه

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محلول‌پاشی متانول و تنش خشکی تأثیر معنی‌داری ($P \leq 0.01$) بر ارتفاع گیاه داشت (جدول ۲). در بین تیمارهای محلول‌پاشی، متانول با سطح ۲۵ درصد بیشترین ارتفاع را دارا بود که با سطوح ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین ارتفاع بوته مربوط به سطح شاهد بود که با دیگر سطوح متانول اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳). بررسی‌های متعدد نشان داده است که ارتفاع گیاه متعاقب کمبود آب قابل استفاده، کاهش می‌یابد (Fischer et al., 2001). در این تحقیق نیز کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش مشاهده شد. در بررسی مخدوم و همکاران (Makhdum et al., 2002) در گیاه پنبه ملاحظه شد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۳۰ درصد حجمی متانول اتفاق افتاد. آن‌ها علت این موضوع را آسیمیلاسیون بیشتر کربن و رقابت بیشتر گیاهان برای دریافت نور بیان کردند. متانول بعد از محلول‌پاشی از طریق آنزیم متانول اکسیداز تبدیل به فرمالدهید و سپس تبدیل به فرمات (متانوئیک اسید) می‌شود. فرمات در مرحله بعد توسط آنزیم فرمات دهیدروژناز تبدیل به دی

Archive of SID

www.SID.ir

اکسید کربن شده و باعث افزایش CO_2 درون سلولی در گیاه می‌شود (Nonomura et al., 1992). بنابراین متانول به عنوان یک منبع کربن می‌تواند در افزایش آسیمیلاسیون CO_2 و فتوسنتز خالص نقش داشته باشد (Ehyaei et al., 2010). در مطالعه بر روی کتان گزارش شد که احتمالاً محلول پاشی متانول با افزایش سیتوکینین و افزایش تقسیم سلولی، تحریک رشد و افزایش ارتفاع در گیاهان تیمار شده را موجب شده باشد (Mauney and Gerik, 1994). باکتری‌های همزیست مانند متیلوتروفیک که روی برگ اکثر گیاهان زراعی زندگی می‌کنند، در ازای دریافت متانول که از برگ گیاه خارج می‌شود پیش ماده ساخت بعضی از هورمون‌ها مانند اکسین و سیتوکینین را که نقش مهمی در تسریع روند رشد و فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه به عهده دارند را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Ivanova et al., 2001).

میانگین طول شاخه های فرعی: تنش خشکی و محلول-پاشی متانول تأثیر معنی‌داری ($P \leq 001$) بر میانگین طول شاخه‌های جانبی داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که سطوح مختلف متانول همگی در یک گروه آماری و سطح شاهد در گروه دیگر قرار گرفت، بنابراین تمام سطوح متانول تأثیر افزایشی یکسانی بر این صفت داشتند (جدول ۳). در بررسی که روی پنبه صورت گرفت مشاهده شد که محلول پاشی متانول موجب افزایش طول ساقه فرعی و تعداد گره ساقه اصلی می‌شود (Makhdum et al., 2002). در مطالعه‌ای دیگر که بر روی بادام زمینی انجام شد بیشترین طول شاخه فرعی در محلول‌پاشی ۲۰ درصد متانول مشاهده شد (Vyshkayy et al., 2008). بررسی‌های متعدد نشان داده است که تنش خشکی منجر به کاهش برخی صفات مورفولوژیکی از قبیل ارتفاع بوته، طول ساقه فرعی، تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی شده است (Fischer et al., 2001)، که با نتایج این مطالعه منطبق می‌باشد.

تعداد شاخه جانبی در بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر محلول‌پاشی متانول بر تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). تنش خشکی و اثر متقابل تنش و متانول تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). بیشترین تعداد شاخه در تیمار محلول پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول و کمترین میزان مربوط به سطح شاهد بود (جدول ۳). در آزمایش‌های گلخانه ای بیشترین تعداد پنجه را در تیمار محلول پاشی ۲۵ درصد متانول بر روی برنج مشاهده شده است (Maliti, 2000). شاخه‌دهی در گیاه نخود به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی به ویژه خصوصیات فیزیکی خاک و یا تنش خشکی قرار می‌گیرد، بنابراین شرایط محیطی می‌تواند سهم شاخه‌ها از عملکرد نهایی را تغییر دهد (Bagheri et al., 2008). در نخود بیشترین تعداد شاخه های فرعی در محلول‌پاشی ۳۰ درصد متانول مشاهده شد (Ehyaei et al., 2010).

وزن خشک اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محلول‌پاشی متانول و تنش خشکی تأثیر معنی-داری ($P \leq 0.01$) بر وزن خشک اندام هوایی داشتند (جدول ۲). اثر متقابل متانول و تنش خشکی نیز بر این صفت معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). در بین سطوح مختلف متانول، محلول‌پاشی ۲۵ و ۳۰ درصد حجمی متانول بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی را داشتند که با سایر سطوح حجمی متانول اختلاف معنی‌داری نشان دادند. کمترین میزان وزن خشک اندام هوایی به سطح شاهد مربوط بود که با سطوح ۲۰ و ۳۵ درصد حجمی متانول اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). مطالعات انجام شده بر روی گوجه فرنگی، برنج و پنبه نشان داد که گیاهانی که با متانول تیمار شدند وزن خشک اندام هوایی بیشتری نسبت به شاهد داشتند (Makhdum et al., 2002; Row et al., 1994; Maliti, 2000). احتمالاً افزایش میزان وزن خشک اندام هوایی در اثر محلول‌پاشی متانول به کاهش تنفس نوری در گیاهان تیمار شده مربوط می‌شود. سطوح مختلف متانول معمولا منجر به افزایش میزان CO_2 درون سلولی و تثبیت CO_2 در گیاه شده و بنابراین فعالیت کربوکسیلاسیون آنزیم روبیسکو نسبت به فعالیت اکسیژنازی به علت فراهم بودن CO_2، بیشتر است که نشان‌دهنده کاهش تنفس نوری است (Ramberget et al., 2002; Dowine et al., 2004). برهمکنش متانول و تنش خشکی بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی مربوط به سطح ۲۵ درصد حجمی متانول در تیمار بدون تنش خشکی بود که با سایر سطوح اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین میزان وزن خشک

Archive of SID

www.SID.ir

اندام هوایی به تیمار شاهد و در شرایط تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۲). در تحقیقی که بر روی گندم انجام گرفت، مشاهده شد با افزایش شدت تنش خشکی، بدون توجه به حساسیت یا مقاومت رقم، وزن خشک بخش هوایی کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند (Blum et al., 1983). احتمالاً متانول با به تعویق انداختن پیری سبب افزایش دوره فعال فتوسنتزی می‌شود که در نهایت منجر به تولید بیشتر محصول در گیاه می‌گردد (Heins et al., 1980). گیاهان تیمار شده با متانول می‌توانند فتوسنتز خالص خود و متعاقب آن راندمان تبدیل کربن در گیاه را بهبود بخشند (Benson et al., 1992). در آزمایشی بر روی چغندرقند، بیشترین ماده خشک هوایی در تیمار ۳۰ درصد حجمی متانول گزارش شد (Zebic et al., 2003).

صفات مربوط به ریشه

وزن خشک ریشه: نتایج تجزیه واریانس مشاهدات نشان داد که محلول‌پاشی متانول تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه داشت ($P \leq 0.01$). تنش خشکی و اثر متقابل تنش و متانول تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشت (جدول ۲). سطح ۲۵ درصد متانول بیشترین میزان عملکرد ریشه را به خود اختصاص داد که با سطح ۳۰ درصد متانول اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان وزن خشک ریشه به تیمار شاهد اختصاص داشت (جدول ۳). مطالعه بر روی چغندرقند نشان داد که در سطح ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول سبب افزایش ۱۰٪ عملکرد ریشه نسبت به تیمار شاهد شد (Nadeali et al., 2010). در مطالعه‌ای دیگر بر روی سویا کاربرد ۲۱ درصد حجمی متانول سبب افزایش ۳۸ درصدی عملکرد ریشه نسبت به سطح شاهد شد، احتمالاً متانول با افزایش میزان تثبیت CO_2 باعث افزایش عملکرد ریشه می‌شود (Nadeali et al., 2010). در تحقیقی که بر روی نخود صورت گرفت، مشاهده شد محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول بیشترین میزان وزن خشک ریشه را داشت (Ehyaei et al., 2010).

طول ریشه اصلی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنش خشکی و متانول تأثیر معنی‌داری ($P \leq 0.01$) بر طول ریشه اصلی داشت (جدول ۲). اثر متقابل متانول و تنش خشکی معنی‌دار نشد. در بین تیمارهای محلول‌پاشی، سطوح مختلف متانول همگی در یک گروه آماری و تیمار شاهد در گروه مجزای دیگری قرار گرفت (جدول ۳). سیستم ریشه‌ای به دلیل نزدیکی به آب، به عنوان اولین حسگر تنش خشکی محسوب می‌شود، بنابراین در ایجاد مقاومت نسبت به تنش خشکی نقش مهمی دارد (Games et al., 2005). طول ریشه اصلی (TL) از جهت بهره‌برداری ریشه از رطوبت و عناصر غذایی موجود در افق‌های متفاوت خاک می‌تواند برای گیاه مفید باشد (Ganjeali et al., 2004). در این تحقیق مشاهده شد سطوح مختلف متانول اثر مثبت بر طول ریشه اصلی داشت که می‌توان به افزایش وزن خشک و عملکرد ریشه در استفاده از متانول نسبت داد. در مطالعه بر روی گوجه فرنگی مشاهده شد که محلول‌پاشی متانول در تمام سطوح باعث افزایش وزن خشک ریشه و ساقه شد (Row et al., 1994). بررسی‌های انجام شده در مناطق خشک پاکستان نیز نشان داد که در گیاه پنبه محلول‌پاشی متانول به میزان ۳۰ درصد حجمی موجب افزایش ارتفاع و وزن خشک ریشه شد (Makhdum et al., 2003). در تحقیقی که بر روی ژنوتیپ‌های نخود صورت گرفت مشاهده شد مجموع طول ریشه‌ها و طول ریشه اصلی در اکثر ژنوتیپ‌ها در شرایط فراهمی رطوبت نسبت به تنش خشکی افزایش یافته است (Ganjeali et al., 2004). در این مطالعه نیز طول ریشه اصلی در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش کاهش معنی‌داری یافت.

سطح ریشه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمار محلول‌پاشی متانول و تیمار تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر سطح ریشه داشت ($P \leq 0.01$)، اما اثر متقابل متانول و تنش بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). در بین اثرات ساده متانول، محلول‌پاشی در سطح ۲۵ درصد حجمی متانول بیشترین میزان سطح ریشه‌ها را داشت و کمترین میزان سطح ریشه به تیمار شاهد تعلق داشت (جدول ۳). افزایش سطح ریشه از طریق افزایش نقاط ورودی آب و عناصر غذایی و همچنین افزایش سطح جذب می‌تواند کارایی جذب آب و عناصر غذایی را افزایش دهد (Ganjeali et al., 2004). محلول‌پاشی ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول باعث افزایش سطح ریشه (طول و اندازه) در چغندر قند شد (Zebic et al., 1997). در تحقیقی دیگر بر روی دو رقم نخود سطح ۳۰ درصد

Archive of SID

www.SID.ir

حجمی متانول بیشترین میزان عملکرد ریشه را تحت تنش خشکی داشت (Ehyaei et al., 2010). علت افزایش سطح ریشه را می‌توان به افزایش وزن خشک و طول ریشه در اثر افزایش فتوسنتز خالص نسبت داد. زبیک و همکاران (Zebic et al., 2002) علت افزایش فتوسنتز خالص و کاهش تنفس نوری در گیاهان تیمار شده با متانول، اکسیداسیون سریع متانول به CO_2 و ترکیب شدن آن با ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات و کم شدن رقابت اکسیژن بیان کردند. در مطالعه‌ای که بر روی ژنوتیپ‌های نخود، برای شناسایی ژنوتیپ مقاوم به خشکی صورت گرفت مشاهده شد سطح ریشه در اکثر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش کاهش می‌یابد (Ganjeali et al., 2004). در این مطالعه نیز سطح ریشه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت.

نسبت سطح ریشه به سطح برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمار محلول‌پاشی متانول بر نسبت سطح ریشه به سطح برگ معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). تیمار تنش خشکی نیز تأثیر معنی‌داری ($P \leq 0.05$) بر این نسبت داشت (جدول ۲). اثر متقابل تنش و متانول بر این صفت معنی‌دار نشد. در بین تیمارهای محلول‌پاشی، سطح ۲۵ درصد حجمی متانول بیشترین میزان نسبت سطح ریشه به سطح برگ را داشت که با سطوح ۳۰ و ۳۵ درصد حجمی اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان این نسبت متعلق به سطح شاهد بود (جدول ۳). نسبت بالاتر ریشه به اندام هوایی (اندام‌های جذب کننده آب نسبت به اندام‌های مصرف کننده) توان گیاه را برای افزایش تحمل به خشکی بهبود می‌بخشد، لذا اغلب متخصصین فیزیولوژی این نسبت را به عنوان معیاری برای مقاومت به خشکی معرفی می‌نمایند (Ganjeali et al., 2004). سطح ریشه صفت مهمی برای جذب آب و عناصر غذایی در گیاه بوده و سطح برگ به مقدار زیادی تعیین کننده جذب نور و تعرق می‌باشد (Ganjeali et al., 2004)، بنابراین نسبت سطح ریشه به سطح برگ ممکن است معیار مناسب‌تری از ارتباط عملی بین ریشه و اندام هوایی باشد (Richner et al., 1996). در مطالعه‌ای که بر روی سویا صورت گرفت، محلول‌پاشی ۲۱ درصد حجمی متانول منجر به افزایش نسبت سطح ریشه به سطح برگ شد (Mirakhori et al., 2011).

صفات مربوط به برگ

وزن خشک برگ: محلول‌پاشی متانول و تنش خشکی تأثیر معنی‌داری ($P \leq 0.01$) بر وزن خشک برگ گیاه نخود داشت (جدول ۲). برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی متانول نیز بر این صفت معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). در بین تیمارهای محلول‌پاشی، سطح ۲۵ درصد حجمی بیشترین وزن خشک برگ را داشت که با دیگر سطوح اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین وزن خشک برگ متعلق به سطح شاهد بود (جدول ۳). مطالعاتی که بر روی گوجه فرنگی انجام شده نشان داده است که گیاهانی که با متانول ۱۵ درصد محلول‌پاشی شدند، دارای وزن خشک برگ بیشتری نسبت به شاهد بودند (Row et al., 1994). لیپورت و همکاران (Liport et al., 1999) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی، برگ‌ها کوچک‌تر و تعداد آن‌ها کمتر می‌شود. کاهش تعداد برگ در زمان تنش می‌تواند به علت پیری زودرس، به منظور کاهش تعرق و رسیدگی زودتر گیاه در شرایط تنش خشکی باشد (Shelderke et al., 1997). در این مطالعه نیز تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک برگ نسبت به تیمار شاهد شد. در برهمکنش متانول و تنش خشکی، بیشترین میزان وزن خشک برگ متعلق به سطح ۲۵ درصد حجمی متانول در تیمار بدون تنش خشکی بود که با دیگر سطوح اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین میزان نیز متعلق به سطح شاهد در تیمار تنش خشکی بود (شکل ۳). در تحقیقی که بر روی دو رقم نخود تحت تنش خشکی صورت گرفت، مشاهده شد محلول‌پاشی متانول در سطح ۳۰ درصد حجمی بیشترین میزان وزن خشک برگ را نسبت به دیگر سطوح داشت (Ehyaei et al., 2010).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس محلول پاشی متانول برخصوصیات مورفولوژیک گیاه نخود تحت تنش خشکی

Table 2. Analysis of variance of morphological characteristics of chickpea in different levels of foliar application of methanol under drought stress

			Mean Square میانگین مربعات										
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	میانگین طول شاخه های فرعی (سانتی متر) Branches length (cm)	تعداد شاخه جانبی در بوته Branches no./plant	وزن خشک اندام هوایی (میلی گرم/گیاه) Shoot dry weight (mg)	وزن خشک ریشه (میلی گرم/گیاه) Root dry weight (mg)	طول ریشه اصلی (سانتی متر) Tap root length (cm)	سطح ریشه (سانتی متر مربع) Root area (cm^2)	نسبت سطح ریشه به سطح برگ Root area/ leaf area	وزن خشک برگ (گرم/گیاه) Leaf dry weight	تعداد برگ در گیاه Leaf no. per plant	سطح برگ (میلی متر مربع) Leaf area (mm^2)
Methanol (M)	متانول	4	39.449 **	53.964 **	3.746 **	0.534 **	0.887 **	33.137 **	969747682.34 **	0.387**	0.559 **	32.740 *	68453200.383 **
Stress (S)	تنش	1	748.701 **	227.921 **	2.319 ns	10.352 **	0.069 ns	99.008 **	1090055367.1 **	0.256 *	2.457 **	2707.690**	1685055885.6 **
M × S	متانول× تنش	4	5.519 ns	2.936 ns	0.482 ns	0.110 *	0.159 ns	7.196 ns	80986561.802 ns	0.106 ns	0.079 *	64.126 **	13058787.883 *
Error	خطای آزمایش	20	2.965	4.244	0.790	0.035	0.132	4.767	62093285.496	0.049	0.022	9.272	3905537.233
C.V (/)	ضریب تغییرات	-	*5.12*	*11.42*	*27.14*	*9.33*	*19.08*	*8.07*	*14.01*	*16.06*	*16.44*	*6.64*	*4.79*

ns: Non-significant, * and **: significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$

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

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی گیاه نخود در سطوح مختلف محلول پاشی متانول تحت تنش خشکی

Table 3. Mean comparisons of physiological characteristics of chickpea under different levels of foliar application of methanol under drought stress

Treatments	تیمارها	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	میانگین طول شاخه های فرعی (سانتی متر) Branches length (cm)	تعداد شاخه جانبی در بوته Branches no./plant	وزن خشک اندام هوایی (میلی گرم/گیاه) Shoot dry weight (mg)	وزن خشک ریشه (میلی گرم/گیاه) Root dry weight (mg)	طول ریشه اصلی (سانتی متر) Tap root length (cm)	سطح ریشه (سانتی متر مربع) Root area (cm^2)	نسبت سطح ریشه به سطح برگ Root area/ leaf area	وزن خشک برگ (گرم/گیاه) Leaf dry weight	تعداد برگ در گیاه Leaf no. per plant	سطح برگ (میلی متر مربع) Leaf area (mm^2)
Methanol	متانول											
Control	شاهد	30.62 b	13.23 b	2.192 b	1.768 b	1.469 c	23.00 b	41600 e	1.077 c	0.559 c	44.58 bc	38640 b
20% w/w	٪۲۰ حجمی	35.68 a	17.27 a	3.027 ab	1.851 b	1.880 bc	27.58 a	50480 d	1.193 bc	0.733 c	46.74 ab	42850 a
25% w/w	٪۲۵ حجمی	35.73 a	20.80 a	3.052 ab	2.449 a	2.422 a	29.08 a	76000 a	1.726 a	1.281 a	48.84 a	45230 a
30% w/w	٪۳۰ حجمی	35.35 a	20.00 a	4.107 a	2.195 a	2.140 ab	28.08 a	58590 b	1.486 ab	1.026 b	46.44 abc	42780 a
35% w/w	٪۳۵ حجمی	33.47 ab	18.92 a	3.997 a	1.798 b	1.626 c	27.50 a	54490 c	1.375 abc	0.629 c	42.66 c	37000 b

www.SID.ir

تعداد برگ در گیاه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی متانول بر تعداد برگ در گیاه معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بود (جدول ۲). اثر تنش خشکی و برهمکنش متقابل تنش خشکی و متانول نیز بر این صفت معنی‌دار شد ($P \leq 0.01$). در بین تیمارهای محلول‌پاشی، بیشترین تعداد برگ در گیاه مربوط به سطح ۲۵ درصد حجمی بود که با سطوح ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین تعداد برگ متعلق به سطح ۳۵ درصد حجمی متانول بود که می‌توان آن را به سمیت متانول در غلظت‌های بالا نسبت داد (جدول ۳). محلول‌پاشی متانول در سطح ۲۰ درصد حجمی در گیاه بادام زمینی سبب افزایش شاخص سطح برگ و تعداد برگ در بوته شد (Vyshgahi et al., 2005). متانول باعث افزایش فشار آماس سلول در برگ‌ها شده که به رشد و توسعه برگ نیز کمک می‌کند (Zebic et al., 2003). در برهمکنش متانول و تنش خشکی، بیشترین میزان تعداد برگ به سطح ۲۰ درصد حجمی متانول در تیمار شاهد مربوط بود و کمترین تعداد برگ به سطح ۳۵ درصد حجمی متانول در شرایط تنش خشکی تعلق داشت، که به اثرات سمی متانول در غلظت‌های بالا مربوط می‌شود (شکل ۴). در شرایط تنش خشکی برگ‌ها کوچک‌تر و تعداد آن‌ها کاهش می‌یابد (Leport et al., 1999). کاهش تعداد برگ در زمان تنش به پیری زودرس که خود عاملی برای کاهش تعرق و رسیدگی زودتر گیاه در شرایط تنش خشکی می‌باشد مربوط می‌شود (Sheldrake et al., 1997). نتایج این تحقیق نشان داد که تنش خشکی تعداد برگ در گیاه را به صورت معنی‌داری کاهش داد. در تحقیقی که بر روی سویا صورت گرفت مشاهده شد که محلول‌پاشی متانول با غلظت ۲۱ درصد حجمی بیشترین میزان سطح و تعداد برگ را داشت (Nadeali et al., 2010). متانول می‌تواند از طریق اثر بر روی سرعت تولید اتیلن، پیری برگ‌ها را به تعویق اندازد و این سبب فعالیت فتوسنتزی بیشتر برگ‌ها شده و در نتیجه منجر به افزایش تعداد برگ می‌شود (Satler and Thimman, 1980).

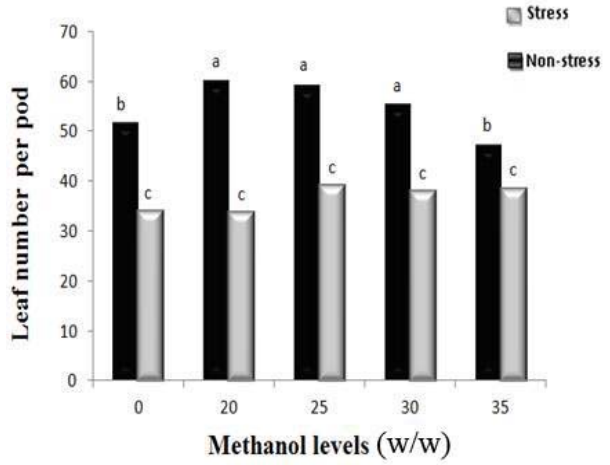
سطح برگ در گیاه: نتایج تجزیه واریانس مشاهدات نشان داد که محلول‌پاشی متانول و تنش خشکی بر سطح برگ معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۲). اثر متقابل متانول و تنش خشکی نیز بر این صفت معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). در بین تیمارهای محلول‌پاشی، بیشترین میزان سطح برگ متعلق به سطح ۲۵ درصد حجمی متانول بود که با سطوح ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی اختلاف معنی داری نداشت. کمترین میزان سطح برگ به سطح ۳۵ درصد حجمی متانول مربوط بود که نشان از سمیت متانول در غلظت‌های بالا می‌باشد (جدول ۳). در برهمکنش متانول و تنش خشکی بیشترین میزان سطح برگ مربوط به سطح ۲۵ درصد حجمی متانول در تیمار بدون تنش خشکی بود که با دیگر سطوح اختلاف معنی داری داشت. کمترین میزان نیز متعلق به سطح ۳۵ درصد حجمی در تیمار تنش خشکی بود (شکل ۵).

در گیاهان تیمار شده با متانول آسیمیلاسیون نیتروژن افزایش می‌یابد (Abanda et al., 2006). با افزایش میزان نیتروژن به طور قابل توجهی اندازه و تعداد برگ افزایش می‌یابد و تا حدود زیادی سبب افزایش مقدار نور جذب شده می‌شود (Muchow, 1990). مطالعاتی که بر روی گوجه فرنگی و چغندرقند صورت گرفت نیز نشان داد محلول پاشی متانول باعث افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز به میزان ۵۰ درصد شده است (Ivanova et al., 2000). بنابراین افزایش شاخص سطح برگ پس از محلول پاشی با متانول را می‌توان به افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز و آسیمیلاسیون نیتروژن نسبت داد (Abanda et al., 2006; Ivanova et al., 2000). از طرف دیگر گزارش کردند محلول پاشی متانول بر روی برگ گیاهان باعث فعال شدن ژن پکتین متیل استراز شده که به افزایش یون کلسیم در سلول‌های برگ و در نهایت بزرگ شدن برگ‌ها منجر می‌شود (Ramirez et al., 2006). نتایج بررسی‌ها در گیاهان نخود، نخود فرنگی و باقلا نشان داد در شرایط تنش خشکی کاهش سطح برگ یک روش سازگاری مهم است، چون اولین راهکاری است که گیاه هنگام کمبود آب آن را اتخاذ می‌کند. در این گیاهان هنگامی که تنش خشکی حادث می‌شود، ارتفاع گیاه و گسترش سطح برگ کاهش یافته، برگ‌های جدید ضخیم‌تر بوده ولی سطح برگ کمتری دارند (Parsa and Bagheri, 2008). در این تحقیق نیز تیمار تنش خشکی باعث کاهش سطح برگ نسبت به تیمار بدون تنش خشکی شد. افزایش سطح برگ با محلول پاشی متانول را می‌توان به افزایش هورمون سیتوکینین و اکسین نیز نسبت داد. محلول پاشی متانول به طور غیرمستقیم سبب تحریک باکتری‌های متیلوتروف

Archive of SID

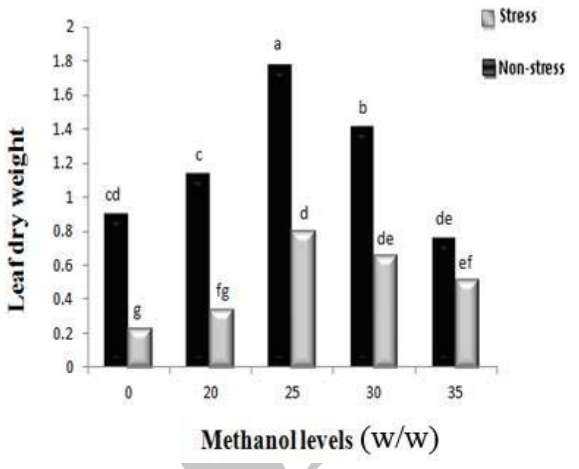
www.SID.ir

برگ گیاهان شده و این باکتری‌ها با تولید اکسین و سیتوکینین باعث تسریع روند رشد در گیاهان می‌شود (Ivanova et al., 2001).



شکل۲. اثر متقابل متانول و تنش خشکی بر تعداد برگ

Fig. 2. Intraction effect of Methanol and drought stress on leaf number per pod

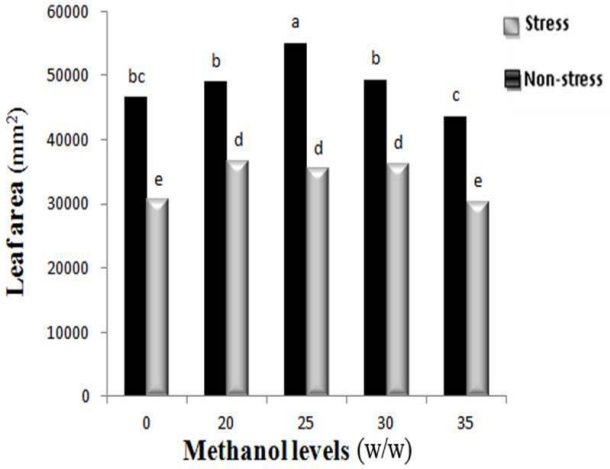


شکل۱. اثر متقابل متانول و تنش خشکی بر وزن خشک برگ

Fig. 1. Intraction effect of Methanol and drought stress on leaf dry weight

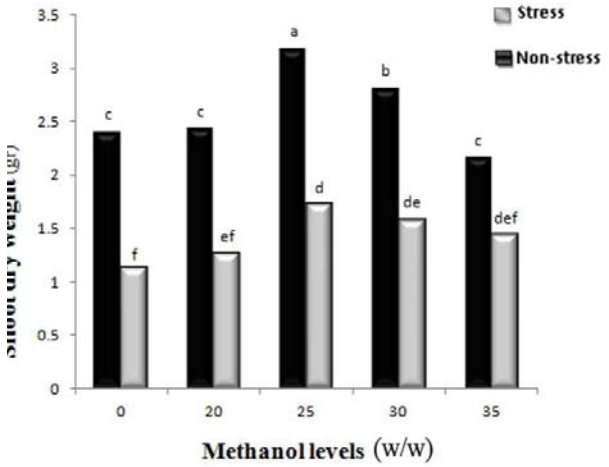
* در هر دو شکل، ستون هایی که دارای حروف مشترک می باشند مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری ندارند (در سطح احتمال ۵ درصد).

* In both figures, the columns that have letters in common are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to duncan test.



شکل۴. اثرمتقابل متانول و تنش خشکی برسطح برگ

Fig. 4. Intraction effect of Methanol and drought stress on leaf area



شکل۳. اثرمتقابل متانول وتنش خشکی بروزن خشک اندام هوایی

Fig. 3. Intraction effect of methanol and drought stress on shoot dry weight

* در هر دو شکل، ستون هایی که دارای حروف مشترک می باشند مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری ندارند (در سطح احتمال ۵ درصد).

* In both figures, the columns that have letters in common are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to duncan test.

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه گیری

در این مطالعه نتایج نشان داد سطح محلول پاشی ۲۵ درصد حجمی متانول در اکثر صفات بر سایر سطوح برتری نشان داد. کاهش میزان آب در خاک از حد ظرفیت زراعی، کاهش معنی داری بر کلیه صفات مورد بررسی گذاشت. محلول پاشی متانول در اکثر صفات مورد اندازه گبری توانست این کاهش را که به دلیل کمبود آب ایجاد شده بود تا حدودی جبران کند. سطح ۳۵ درصد حجمی موجب کاهش معنی داری در صفات مورد بررسی شد، لذا مصرف این ماده در این سطح و بالاتر از آن توصیه نمی‌شود. در کل می‌توان متانول را به عنوان یک ماده ضد تنشی برای گیاه نخود پیشنهاد داد.

.

منابع

Abanda,D., Musch, M., Tschiersch, J., Schawb. M., 2006. Molecular interaction between Methylobacterium extorquens and seedling : growth promotion, methanol consumption. And localization of the methanol emission site. J. Exp. Bot. 57(15), 4025-4032.

Bagheri, A., Nezami, A., Ganjeali, A., Parsa, M., 1997. Agronomy and breeding chickpea. Jahad University of Mashhad Publications. [In Persian].

Benson, A.A., Nonomura, A.M., 1994. The path of carbon in photosynthesis: methanol inhibition of glycolic acid accumulation. Photosynth. Res. 34, 196.

Blum, A., 1983. Crop response to drought and the interpretation adaptation. Plant Growth Reg. 20, 135-148.

Boyer, J.S., Armand, P.A., Sharp, R.E., 1987. Light stress and leaf water relations. In: Kyle, D.J., Osmoud, C.B., Arntzen, C.J. (Eds), Photoinhibition, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. pp: 111-122.

Doss, B.D., Pearson, R., Wand Howard, T.R., 1974. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. Agron. J. 66, 297-299.

Downie, A., Miyazaki, S., Bohnert, H., John, P., Coleman, J., Parry, M., Haslam, R., 2004. Expression profiling of the response of Arabidopsis thaliana to methanol stimulation. Phytochem. 65, 2305-2316.

Ehyaei, H.R., Parsa, M., Kafi, M., Nasiri Mahalati, M., 2010. Effect of foliar application of methanol and irrigation regimes on yield and yield components of chickpea cultivars. Iranian J. Pulses Res. 1, 37-48. [In Persian with English Summary].

Fischer, R.A., 2001. Selection traits for improving yield potential. In: Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio J.I., McNab, A., (Eds.). Application of Physiology in Wheat Breeding. D.F. CIMMYT. Mexico p. 148-159.

Gamze, O.K.U., Mehmet Demir, K.A.Y.A., Mehmet, A.T.A.K., 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.), Turk. J. Agric. For. 29, 237-242.

Ganjeali, A., Kafi, M. Bagheri, A., Shahriyari, F., 2004. Allometric relationship between root and shoot characteristics of chickpeas seedling (*Cicer arietinum* L.). Iranian J. Field Crops Res.18, 67-80. [In Persian with English Summary].

Ganjeali, A., Kafi, M., 2007. Genotypic differences for allometric relationships between root and shot characteristics in Chickpea (*Cicer arietinum* L.), Pak. J. Bot. 39, 1523-1531. [In Persian with English Summary].

Archive of SID

www.SID.ir

Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeille, F., Nonomura, A. R., Benson, A., Douce, R., 2000. Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. Plant Physiol. 123, 287-296.

Hanson, A.D., Roje, S., 2001. One carbon metabolism in higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 52, 119-138.

Heins, R., 1980. Inhibition of ethylene synthesis and senescence in carnation by ethanol. J. Am. Soc. Hort. Sci. 105 (1), 141-144.

Holland, M.A., 1997. Occams razor applied to hormonology. Are cytokinins produced by plants? Plant Physiol. 115, 865-868.

Ivanova, E.G., Dornina, N.V., Trotsenko, Y.A., 2001. Aerobic methylobacteria are capable of synthesizing auxins. Microbiol .70, 392-397.

Jalota, S.K., Anil, S., Harman, W. L., 2006. Assessing the response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield to irrigation water on two soils in Punjab (India): A simulation analysis using the CROPMAN model. Agric. Water Manage. 79, 312-320.

Leport, L., Turner, N.C., Davies, S.L., Siddique, K.H.M., 2006. Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought. Europ. J. Agron. 24, 236-246.

Li, Y., Gupta, J., Siyumbano, A.K., 1995. Effect of methanol on soybean photosynthesis and chlorophyll. J. Plant Nutr. 18, 1875-1880.

Madhaiyan, M., Poonguzhali, S., Sundaram, S.P., Sa, T.A., 2006. New insight into foliar applied methanol influencing phylloplane methylotrophic dynamics and growth promotion of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Environ. Exp. Bot. 57: 168-176.

Makhdum, I.M., Nawaz, A. Shabab, M., Ahmad, F., Illahi, F., 2002. Physiological response of cotton to methanol foliar application. Journal of Research (Science), Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan. 13, 37-43.

Malhotra, R.S., Saxena, M.C., 2002. Strategies for overcoming drought stress in chickpea. ICARDA. 17, 20-23.

Mauney, J.R., Gerik, T.J., 1994. Evaluating methanol usage in Cotton. Proc. Beltwide Cotton Conf., National Cotton Council of America Memphis, TN, USA. p: 39-40.

Mirakhori, M., Paknejad, F., Moradi, F., Nazeri, P., Nasri, M., 2010. Effects of foliar application of methanol on (*Glycine max* L.). J. Agroecol. 2, 236-244. [In Persian with English Summary].

Muchow, R. C., Sinclair, T., Rennetl, I. M. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. Agron. J. 82, 238-343.

Nadali, I., Paknejad, F., Moradi, F., Vazan, S., 2010. Effect of methanol on yield and some quality characteristics of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) cv. Rasoul in Drought and Non-Drought Stress Conditions. J. Seed Plant Improv. 26, 95-108. [In Persian with English Summary].

Nemecek-Marshall, M., MacDonald, R. C., Franzen, J. J., Wojciechowski, C. L., Fall, R., 1995. Methanol emission from leaves: enzymatic detection of gas-phase methanol and relation of methanol fluxes to stomatal conductance and leaf development. Plant Physiol. 108, 1359-1368.

Nonomura, A. M., Benson, A. A., 1992. The path of carbon in photosynthesis: Improved crop yields with methanol. Proc. National Acad. Sci., USA. 89, 9794-9798.

Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A.R., Najafi, F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arientimum* L.) . Acta Biologica Cracoviensia-Series Botanica. 53, 47-56.

Archive of SID

www.SID.ir

Richner, W., Soidati, A., Stamp, P., 1996. Shoot to root relation in field grown maize seedlings. Agron. J. 88, 56-61.

Rowe, R. N., Farr, D. J., Richards, B. A. J., 1994. Effects of foliar and root applications of methanol or ethanol on the growth of tomato plants (*Lycopersicon esculentum.*L). New Zealand J. Crop Horti. Sci. 22, 335-337.

Saxena, N.P., Singh, O., Sethi, S.C., Krishnamurthy, L., Singh, S.D., Johansen, C., 2005. Genetic enhancement of drought tolerance in chickpea (short note). (WWW. ICRISAT.org).

Sheldrake, A. R., Saxena, N. D., 1979. The growth and development of chickpea under progressive moisture stress. In: Mussell, H.W., Staples, R.C. (Eds), Stress Physiology in Crop Plants. pp. 12-74.

Van, I., Heitholt, M.W., Wells, J.J., Oosterhuis, D.M., 1995. Foliar methanol applications to cotton in the Southeastern United States, leaf physiology, growth and yield components. Agron. J. 87, 1157-1160.

Vyshkayy, M., Noormohammadi, Gh., Majidi, A., Rabii, B., 2008. Effect of methanol on the growth function peanuts. Iranian J. Agric. Sci., Special Issue, 1, 102-87. [In Persian with English Summary].

Zbiec, I., Karczmarczyk, S., Podsiadlo, C., 2003. Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities (EJPAU). 6(1), 1-7.

Archive of SID

www.SID.ir