مجله پژوهش‌های به زراعی
جلد ۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴

مجله پژوهش‌های به زراعی

اثر محلول‌پاشی متانول بر خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه و اندام هوایی ذرت در شرایط تنش خشکی

محمد آرمین[1*] و علی کیوانلو[2]

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

دریافت: ۹۳/۱۲/۱۲ پذیرش: ۹۴/۴/۲۵

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی متانول بر خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه و اندام هوایی ذرت سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در سال ۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا گردید. در این تحقیق تنش خشکی در ۳ سطح (آبیاری در ۱۰۰ ، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی متانول در ۴ سطح (عدم مصرف و محلول‌پاشی و ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول به‌همراه دو گرم در لیتر گلیسین) در نظر گرفته شد. نتایج آزمایش نشان داد، که افزایش تنش خشکی سبب کاهش شاخص کلروفیل، ارتفاع گیاه، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، سطح ریشه، حجم ریشه و وزن مخصوص ریشه شد، در حالی که طول ریشه، قطر ریشه و نسبت ریشه به تاج تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. محلول‌پاشی با نسبت حجمی ۳۰٪ بالاترین شاخص کلروفیل، ارتفاع گیاه، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، سطح ریشه، حجم ریشه و وزن مخصوص ریشه را نشان داد، که اختلاف آماری معنی‌داری با محلول‌پاشی با نسبت حجمی ۲۰٪ نداشت. اگرچه در شرایط بدون تنش، واکنش خصوصیات ریشه و اندام هوایی به مصرف متانول بیشتر بود، اما در شرایط تنش خشکی، مصرف متانول سبب بهبود خصوصیات مورد بررسی گردید. بر این اساس می‌توان اظهار داشت، در شرایط تنش خشکی استفاده از محلول‌پاشی متانول با نسبت حجمی ۲۰٪ سبب کاهش اثرات تنش خشکی بر خصوصیات ریشه و اندام هوایی ذرت می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، ذرت، متانول، محلول‌پاشی، مورفولوژی ریشه

* نگارنده مسئول (Armin@iaus.ac.ir)

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

امروزه در جهان، ذرت به صورت مستقیم به‌عنوان ماده غذایی برای میلیون‌ها نفر و به صورت غیرمستقیم به‌عنوان یک محصول علوفه‌ای یکی از اجزای ضروری امنیت غذایی جهانی محسوب می‌شود. یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنش کمبود آب در مراحل رشد است. اثرات سوء ناشی از تنش کمبود آب بر رشد، نمو و عملکرد ذرت بستگی به زمان وقوع تنش، مراحل نمو، ژنوتیپ گیاه، ارقام، روش کشت گیاه، کیفیت خاک، میزان کمبود و تغییرات شرایط محیطی در طول خشکی دارد (حیدری شریف‌آباد، ۱۳۸۳). تنش خشکی از طریق بسته شدن روزنه‌ها و نرسیدن دی‌اکسید کربن به کلروپلاست بر فتوسنتز اثر می‌گذارد (Hopkins and Huner, 2009). دوره‌های بحرانی تنش در ذرت شامل مراحل استقرار گیاهچه، دوره رشد سریع، مرحله گرده‌افشانی و پر شدن دانه می‌باشد و به دلیل این‌که هر مرحله فرآیندهای فیزیولوژیکی متفاوتی را در بر می‌گیرد، بنابراین اثر تنش بر عملکرد متفاوت می‌باشد (Nielsen, 2001). کمبود آب در مرحله رویشی نه تنها بر برگ و ساقه، بلکه بر روی وقایع نمو مهمی مانند ظهور گل تاجی، ابریشم دهی بلال، شروع و پایان رشد خطی در پر شدن دانه، احیای نیترات و ساخت پروتئین مؤثر است (Nesmith and Ritchie, 1992). به عقیده برخی محققین، تنش آب قبل از ابریشم دهی بلال، عملکرد دانه را ۱۵/۱ تا ۲۲/۱ درصد کاهش می‌دهد. تفاوت موجود در میزان کاهش عملکرد طی آزمایش‌های مختلف می‌تواند به علت تفاوت رقم‌ها و همچنین اختلاف در شدت و زمان دقیق کمبود آب اعمال شده، باشد (Osbome *et al*., 2002). رفیعی و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت نشان داد، ند که تنش خشکی با تأثیر منفی بر رشد و نمو اندامک‌های زایشی موجب کاهش اجزای عملکرد تعداد بلال در واحد سطح، تعداد دانه در ردیف، وزن صد دانه و در نهایت عملکرد دانه شد.

Timel *et al* (2001) بیان نمودند، فرآیند دانه‌بندی در ذرت به وسیله فتوسنتز برگ‌ها، میزان قندها، نشاسته، آبسیزیک اسید و سیتوکنین تعیین می‌شود و کمبود آب به مدت ۵ روز پیش از گرده‌افشانی و نیز در مرحله اولیه گرده‌افشانی موجب کاهش دانه‌بندی در نواحی انتهایی بلال می‌شود. گزارش‌های متعددی مبنی بر حساس بودن مرحله گلدهی و گرده‌افشانی در ذرت نسبت به کمبود آب داده شده است. کمبود آب در این مرحله باعث کاهش شدید عملکرد از طریق نمو غیرطبیعی کیسه جنینی، عقیمی دانه گرده و در نهایت کاهش تعداد دانه‌های بارور می‌شود (Dorn *et al*., 2002). اگرچه مطالعات متعددی در مورد اثرات زمان، مقدار و نوع اعمال تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد و خصوصیات رویشی گیاهان زراعی مختلف گزارش شده است، اما در بسیاری از این مطالعات اثرات تنش خشکی بر خصوصیات سیستم ریشه‌ای کمتر مورد توجه محققان گرفته است. گزارش شده است که ارقام متحمل دارای سیستم ریشه‌ای توسعه یافته‌تری برای تحمل به تنش خشکی هستند. در این گونه‌ها سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی به ریشه اختصاص پیدا می‌کند و با افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی از آب قابل دسترس استفاده بیشتری می‌کند (گنجعلی و همکاران، ۱۳۸۹)

اعتقاد بر این است که اثرات تنش‌های محیطی را می‌توان با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن کاهش داد. افزایش co2 با افزایش تجمع کربوهیدرات‌ها، تسریع گل‌دهی و افزایش فشار تورگی سبب تحمل

Archive of SID

www.SID.ir

به تنش در گیاهان زراعی می‌گردد. یکی از راهکارهای افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در گیاهان، استفاده از ترکیباتی نظیر متانول، پروپانول و بوتانول می‌باشد (Zbieć *et al*., 2003). در بین این ترکیبات متانول به دلیل این‌که ساده‌ترین فراورده گیاهی است که می‌تواند سبب افزایش غلظت دی‌اکسید کربن شود، امروزه دارای استفاده وسیعی در کاهش اثرات تنش‌های محیطی در گیاهان زراعی است (صفرزاده ویشکایی و همکاران، ۱۳۸۶). گزارش شده است، محلول‌پاشی متانول فعالیت برخی از ژن‌هایی مؤثر در تنظیم فتوسنتز را تنظیم می‌نماید و بسته به زمان، افزایش ثابتی در مقدار عوامل تنظیم کننده متابولیسم اسیدهای آمینه و سنتز پروتئین‌ها نظیر ترانس آمینازها و اندوپپتیدازها مشاهده می‌شود (Downie *et al*. 2004).

Nonomura & Benson (1992) گزارش کردند که محلول‌پاشی متانول باعث افزایش عملکرد، تسریع در رسیدگی، کاهش اثر تنش خشکی و کاهش نیاز آبی گیاه می‌شود. افزایش ۱۰ درصدی عملکرد در چغندرقند (نادعلی و همکاران، ۱۳۸۹)، افزایش طول ساقه (Hernandez *et al*. 2000) ، سطح برگ، وزن خشک ساقه و میزان عملکرد آفتابگردان (اسفینی فراهانی و همکاران، ۱۳۹۱)، افزایش فتوسنتز و عملکرد پنبه (Makhdum *et al*., 2002) بر اثر محلول‌پاشی متانول گزارش گردیده است.

در تحقیق دیگری محلول‌پاشی متانول به نسبت حجمی ۲۵٪ به صورت معنی‌داری سبب افزایش تعداد ریشه‌های جانبی، وزن خشک ریشه، طول ریشه، نسبت ریشه به تاج و مجموع طول ریشه در نخود شد (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۲).

با وجود اهمیت سیستم ریشه‌ای در تحمل به تنش خشکی و نقش مثبت متانول در افزایش فعالیت فتوسنتزی که ممکن است سبب تغییر فعالیت ریشه شود، تاکنون مطالعه‌ای در مورد اثرات محلول‌پاشی متانول بر ریخت‌شناسی ریشه ذرت در شرایط تنش خشکی انجام نشده است. لذا این مقاله به منظور بررسی واکنش ریخت‌شناسی اندام هوایی و ریشه در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی متانول بر خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه و اندام هوایی ذرت (سینگل کراس ۷۰۴)، آزمایشی در مهر ماه ۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام گرفت.

عامل‌های مورد بررسی شامل: تنش خشکی در ۳ سطح آبیاری در ۱۰۰، ۷۵ و۵۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی متانول در ۴ سطح، بدون محلول‌پاشی (شاهد)، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول به همراه دو گرم در لیتر گلیسین (جهت جلوگیری از صدمات ناشی از سمیت متانول) در نظر گرفته شد. تیمار تنش خشکی بر اساس درصد رطوبت وزنی از طریق توزین گلدان‌ها و تأمین کسری رطوبت مورد نیاز اعمال شد.

کشت در گلدان‌هایی با قطر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که در حدود ۱۰ کیلوگرم خاک گنجایش داشت، صورت گرفت. در هر گلدان ابتدا ۱۰ عدد بذر به صورت تصادفی کشت شد و بعد از رسیدن به مرحله ۴ . ۳ برگی تراکم در هر گلدان به ۵ بوته کاهش پیدا کرد. در طی فصل رشد نیاز تغذیه‌ای گیاه با محلول‌پاشی کود میکرو کامل انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در هر گلدان در جدول ۱ نمایش داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

pH	EC ds/m	N	فسفر mg/kg	پتاس mg/kg	مواد آلی %	بافت خاک		
						شن٪	سیلت٪	رسی٪
۷/۸	۱/۴۴	۰/۰۴۳	۸/۸۰	۲۲۵	۰/۵	۵۰	۳۷	۱۳

اولین محلول‌پاشی یک ماه بعد از سبز شدن و محلول‌پاشی دوم دو ماه بعد از سبز شدن ذرت انجام گرفت. زمان محلول‌پاشی ساعت ۸ الی ۹ صبح در نظر گرفته شد به نحوی که قطره‌های محلول بر روی برگ‌ها جاری شوند.

در زمان شروع کاکل دهی (توقف رشد ریشه)، کلیه گیاهان به صورت تخریبی برداشت و به دو بخش اندام هوایی و ریشه تفکیک شدند. در بخش هوایی ارتفاع گیاه و وزن تر ساقه و خشک ساقه اندازه‌گیری شدند. ریشه‌ها بعد از شستشو با آب به آزمایشگاه زراعت انتقال و در آن صفات مورفولوژیکی ریشه اندازه‌گیری شد. به این منظور ریشه‌ها ابتدا با قرار گرفتن در محلول متیل بنفش، رنگ‌آمیزی و سپس توسط سیستم آنالیز ریشه، خصوصیاتی نظیر حجم، مجموع سطح، متوسط قطر و مجموع طول ریشه‌ها محاسبه شدند.

پس از بررسی خصوصیات ریخت‌شناسی، نمونه‌های ریشه و اندام هوایی، به مدت ۴۸ ساعت به آون با دمای ۵۵ درجه سانتی گراد منتقل شد. سپس وزن خشک ریشه و اندام هوایی با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری گردید. در این تحقیق نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی (نسبت ریشه به تاج) تعیین گردید و همچنین از طریق تقسیم وزن خشک ریشه (میلی‌گرم) به طول ریشه (سانتی‌متر)، وزن مخصوص ریشه (میلی‌گرم بر سانتی‌متر) محاسبه شد.

در نهایت داده‌های به دست آمده توسط نرم‌افزار آماری SAS ver 9.1 تجزیه و میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل، ارتفاع گیاه، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، سطح ریشه، حجم ریشه و وزن مخصوص ریشه داشت در حالی‌که طول ریشه، قطر ریشه و نسبت ریشه به تاج تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت (جدول ۲).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر صفات مورد آزمون

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		شاخص کلروفیل	ارتفاع گیاه	وزن خشک اندام هوایی	طول ریشه	وزن خشک ریشه	سطح ریشه	حجم ریشه	وزن مخصوص ریشه
تکرار	۲	۷/۳ ns	۹۵/۰۸ ns	۴۵/۸ ns	۳/۰۶ ns	۰/۰۳ ns	۲۰۵۵/۱۲ ns	۱۹/۶۷ ns	۰/۳۶ **
تنش (A)	۲	۳۵/۵۷ *	۸۴۴۶/۳ **	۶۴/۲۹ **	۲۷/۶۷	۰/۲۶ **	۹۴۵۶/۷۶ **	۵۹۰/۳۷ **	۰/۷۵ **
متانول (B)	۳	۱۴۹/۰۵ **	۳۸۷۷/۸ **	۲۹/۵۹ **	۲۳۵/۶۲ **	۰/۵۰ **	۱۵۱۹۱/۲۸ **	۸۶۷/۹۲ **	۰/۳۵ **
A×B	۶	۵/۶۸ ns	۱۴۹۳/۵۵ *	۵/۰۷ **	۳۲/۶۹ ns	۰/۰۶ **	۴۹۳/۵۸ ns	۱۰۸/۹۴ ns	۰/۳۲ **
خطا	۲۲	۷/۲۷	۵۶۳/۰۷	۰/۸۶	۲۳/۸۶	۰/۰۱	۱۰۷۰/۴۶	۸۴/۶۴	۰/۰۵
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۰۶	۲۰/۵۶	۱۰/۵۴	۹/۳۳	۱۱/۲۲	۱۳/۰۸	۱۰/۹۳	۱۳/۵۹

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشند.

بیشترین شاخص کلروفیل (۳۵/۱۴) در آبیاری کامل (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) و کمترین شاخص کلروفیل در آبیاری بعد از رسیدن به ۵۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد. آبیاری بعد از رسیدن به ۵۰٪ ظرفیت زراعی سبب کاهش ۹/۷۸ درصدی شاخص کلروفیل در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۳). اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمار شاهد و کاهش شاخص کلروفیل با افزایش تنش خشکی را می‌توان به تخریب کلروفیل بر اثر صدمه اکسیداتیو تنش خشکی نسبت داد (Kim *et al*., 2015).

جدول ۳- اثر اصلی تنش خشکی بر صفات مورد آزمون

تنش خشکی	شاخص کلروفیل (SPAD)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	طول ریشه (متر در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	سطح ریشه (سانتی متر مربع در بوته)	حجم ریشه (متر مکعب در بوته)	وزن مخصوص ریشه (میلی گرم بر سانتی متر)
٪۱۰۰FC	۳۵/۱۴a	۱۴۰/۴۱a	۱۰/۲۵a	۵۴/۰۲a	۱/۲۹a	۲۸۰/۷۴a	۹۰/۶۵a	۱/۹۱a
٪۷۵FC	۳۳/۵۲ab	۱۱۸/۲۵b	۹/۲۷b	۵۱/۹۱a	۰/۹۷a	۲۴۴/۰۷a	۸۴/۹۷a	۱/۷۵a
٪۵۰FC	۳۱/۷۰b	۷۷/۵۸c	۷/۱۸c	۵۱/۰۷a	۰/۹۳b	۲۲۵/۵۸b	۷۶/۷۱b	۱/۴۲b

در هر ستون میانگین‌هایی که با حروف مختلف نشان داد، ه شده‌اند، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ اختلاف آماری معنی‌داری دارند.

افزایش تنش خشکی از سطح شاهد به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش ۳۷/۶۳ درصدی ارتفاع نهایی گیاه شد (جدول ۳). در بین خصوصیات مورد بررسی در این آزمایش، ارتفاع بیشترین واکنش را به تنش خشکی نشان داد، به نحوی که بین کلیه تیمارهای آزمایش اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد. کاهش تقسیم سلولی به دلیل کاهش تورژسانس سلولی بر اثر کاهش دسترسی به آب، دلیل اصلی کاهش ارتفاع در گیاه بود (ناد علی و همکاران، ۱۳۸۹).

روند تغییرات وزن خشک اندام هوایی همانند ارتفاع بود و با افزایش تنش خشکی وزن خشک ساقه به صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرد. آبیاری بعد از رسیدن به ۷۵ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی در مقایسه با

Archive of SID

www.SID.ir

تیمار شاهد سبب کاهش ۹/۵۶ و ۲۹/۹۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی شد (جدول ۳). کاهش وزن خشک اندام هوایی با کاهش ارتفاع و سطح برگ گیاه ارتباط دارد. در شرایط تنش خشکی، کاهش تولید مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش سطح برگ در نهایت سبب کاهش وزن خشک ساقه گردید.

وزن خشک ریشه با افزایش تنش خشکی به صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار شاهد و کمترین میزان آن در آبیاری بعد از رسیدن رطوبت به ۵۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد. اختلاف آماری معنی‌داری بین آبیاری بعد از رسیدن به ۷۵٪ ظرفیت زراعی و تیمار شاهد مشاهده نشد (جدول ۳). کاهش ارتفاع و کاهش سطح برگ، دلیل اصلی کاهش تولید ماده خشک در گیاه بوده است که این امر سبب کاهش تولید وزن خشک در هر بوته شده است. مراد و همکاران (۱۳۹۰) نیز در مورد نخود گزارش کردند که تنش خشکی سبب کاهش وزن خشک ریشه می‌گردد. سطح ریشه تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. با افزایش شدت تنش خشکی، سطح ریشه کاهش پیدا کرد به نحوی که در شرایط آبیاری ۵۰٪ ظرفیت زراعی، کمترین سطح ریشه مشاهده شد. اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمار شاهد و آبیاری بعد از رسیدن به ۷۵٪ ظرفیت زراعی مشاهده نشد (جدول ۳). کاهش سطح ریشه با افزایش تنش خشکی به کاهش تولید ریشه‌های اصلی و ریشه‌های جانبی مربوط می‌شود. در شرایط تنش خشکی اگر چه ممکن است طول ریشه افزایش پیدا کند، اما کاهش تولید ریشه سبب کاهش سطح ریشه خواهد شد. گزارش شده است که افزایش شدت تنش سطح کل ریشه‌ها را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد به طوری که مقدار این صفت در تیمار بدون تنش، حدود دو برابر تیمار تنش شدید گردید (مراد و همکاران، ۱۳۹۰).

حجم ریشه تغییراتی مانند سطح ریشه داشت. آبیاری بعد از رسیدن به ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با تیمار شاهد سبب کاهش ۶/۲۶ و ۱۵/۳۷ درصدی وزن اندام هوایی شد. اختلاف آماری معنی‌داری بین آبیاری بعد از رسیدن به ۷۵٪ ظرفیت زراعی و تیمار شاهد مشاهده نشد (جدول ۳). اعتقاد بر این است که در شرایط تنش خشکی، کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش جذب و انتقال آب و عناصر غذایی به دنبال کاهش رطوبت در منطقه ریشه و به طور کلی به کارگیری سازوکارهای تحمل به تنش خشکی می‌تواند سبب کاهش حجم ریشه گردد (Ganjeali, 2012).

وزن ویژه ریشه با افزایش تنش خشکی کاهش پیدا کرد. کمترین وزن ویژه ریشه در آبیاری ۵۰٪ ظرفیت زراعی به دست آمد (جدول ۳). کمتر بودن وزن ویژه ریشه در تنش رطوبتی ۵۰٪ ظرفیت زراعی می‌تواند به دلیل کاهش شدید وزن خشک ریشه بر اثر تنش خشکی باشد. چون این صفت حاصل تقسیم وزن خشک به طول ریشه است. تغییرات وزن خشک نسبت به طول ریشه کمتر بوده و کاهش رشد ریشه که کاهش طول ریشه را به همراه داشته است، سبب کاهش شدید این صفت شد.

در بین خصوصیات مورد بررسی، محلول‌پاشی متانول اثر معنی‌داری بر قطر ریشه و نسبت وزن ریشه به تاج نداشت در حالی که سایر خصوصیات مورفولوژیکی ریشه تحت تأثیر محلول‌پاشی متانول قرار گرفت (جدول ۲).

بیشترین شاخص کلروفیل (SPAD) در محلول‌پاشی با غلظت ۳۰ درصد حجمی مشاهده شد. اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارهای شاهد، ۱۰ درصد و ۲۰ درصد حجمی محلول‌پاشی متانول

Archive of SID

www.SID.ir

مشاهده نشد (جدول ۳). گزارش شده است که محلول‌پاشی با متانول سبب افزایش محتوی کلروفیل می‌گردد. ناد علی و همکاران (۱۳۸۹) نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی متانول با ۲۰ درصد حجمی، سبب افزایش محتوی کلروفیل چغندرقند گردید که در مقایسه با عدم محلول‌پاشی سبب افزایش ۱۸ درصدی محتوی کلروفیل گردید. افزایش مقدار کلروفیل می‌تواند با اکسیداسیون متانول در بوته‌های دارای کمبود آب مرتبط باشد، زیرا بوته‌ها در شرایط کمبود آب با تنش اکسیداتیو روبرو می‌شوند. در این شرایط متانول به راحتی توسط عصاره برگ به فرمالدئید اکسیده می‌شود که این امر تا حد زیادی توسط آنزیم کاتالاز انجام می‌گیرد و دیگر این آنزیم وارد مسیر تخریبی کلروفیل نمی‌گردد.

جدول ۴- اثر اصلی غلظت های مختلف محلول پاشی متانول بر صفات مورد آزمون

متانول (درصد حجمی)	شاخص کلروفیل	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	طول ریشه (متر در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	سطح ریشه (سانتی متر مربع در بوته)	حجم ریشه (متر مکعب در بوته)	وزن مخصوص ریشه (میلی گرم بر سانتی متر)
۰	۳۰/۰۸b	۹۳/۸۸b	۶/۶۳c	۴۶/۸۱b	۰/۷۹c	۲۰۳/۲۵c	۷۲/۹۶c	۱/۴۲b
۱۰	۳۲/۱۰b	۱۰۲/۲۲b	۸/۳۰b	۴۹/۴۵b	۰/۹۱c	۲۳۳/۶۹bc	۸۰/۰۴bc	۱/۶۹a
۲۰	۳۲/۲۵b	۱۲۷/۶۶a	۹/۹۸a	۵۵/۱۱a	۱/۱۲b	۲۶۴/۵۹b	۸۷/۶۸ab	۱/۸۱a
۳۰	۳۹/۳۷a	۱۳۷/۸۸a	۱۰/۶۹a	۵۷/۹۸a	۱/۳۳a	۲۹۸/۹۸a	۹۵/۷۶a	۱/۸۷a

در هر ستون میانگین‌هایی که با حروف مختلف نشان داد، ه شده‌اند، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ اختلاف آماری معنی‌داری دارند.

افزایش غلظت محلول‌پاشی متانول سبب افزایش ارتفاع گیاه گردید. اگرچه بیشترین ارتفاع گیاه در محلول‌پاشی با غلظت ۳۰٪ مشاهده شد ولی اختلاف آماری معنی‌داری با غلظت ۲۰٪ نداشت. مصرف غلظت ۱۰ درصد متانول نتوانست ارتفاع مناسبی را در گیاه ایجاد کند و اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد، محلول‌پاشی متانول با افزایش تولید سیتوکنین و افزایش تقسیم سلول، تحریک رشد و افزایش ارتفاع در گیاهان تیمار شده را موجب می‌شود. مشابه نتایج فوق در مورد پنبه Makhdum *et al* (2002) افزایش ارتفاع را با محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول گزارش کردند. در گندم نیز افزایش ۵۰ درصدی ارتفاع بوته با محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول گزارش شده است (Ebrahim & Aly, 2005) در حالی که در نخود استفاده از غلظت ۳۰ درصد حجمی متانول سبب کاهش ارتفاع گردید که دلیل این امر به سمیت متانول نسبت داده شده است (Ganjali, 2012).

وزن اندام هوایی با افزایش غلظت محلول‌پاشی متانول افزایش پیدا کرد (جدول ۴). اعتقاد بر این است که محلول‌پاشی متانول سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های نیترات رداکتاز و آلکالین فسفاتاز می‌شود که این ماده به عنوان یک ماده آلی بازدارنده تنفس نوری عمل می‌کند. متانول با اکسیداسیون سریع به فرمالدئید و پس از آن به دی اکسید کربن سبب افزایش غلظت این گازها در برگ‌ها و افزایش نقطه جبرانی می‌گردد (صفر زاده ویشکایی و همکاران، ۱۳۸۶). سبک روفومنی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که کاربرد متانول به صورت محلول‌پاشی، باعث افزایش وزن تر بوته‌های توتون و افزایش فشار تورگر برگ‌ها می‌شود که این عمل افزایش وزن خشک را به همراه خواهد داشت. نادعلی و همکاران

Archive of SID

www.SID.ir

(۱۳۸۹) نیز افزایش وزن اندام هوایی چغندرقند را بر اثر محلول‌پاشی متانول گزارش کردند.

محلول‌پاشی با غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی در مقایسه با تیمار شاهد سبب افزایش ۵/۶۴، ۱۷/۷۳ و ۲۳/۸۶ درصدی مجموع طول ریشه در بوته شد (جدول ۴). افزایش مجموع طول ریشه بر اثر محلول‌پاشی با متانول به افزایش تولید مواد فتوسنتزی در برگ و انتقال آن به اندام‌های زیرزمینی و تولید ریشه‌های اولیه و ثانویه بیشتر مربوط می‌شود. حسین زاده و همکاران (۱۳۹۲) نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی با متانول اثر مثبتی بر طول ریشه اصلی دارد. این محققان افزایش طول ریشه را به افزایش وزن خشک و عملکرد ریشه در استفاده از متانول نسبت داده‌اند. در پنبه محلول‌پاشی متانول به میزان ۳۰ درصد حجمی موجب افزایش طول ریشه شد (Makhdum *et al*, 2002) که با نتایج این تحقیق هماهنگ است.

بیشترین وزن خشک ریشه در محلول‌پاشی با غلظت ۳۰٪ مشاهده شد. اختلاف آماری معنی‌داری بین محلول‌پاشی ۱۰٪ حجمی و تیمار شاهد وجود نداشت (جدول ۴). افزایش وزن خشک ریشه همبستگی قوی با مجموع طول ریشه دارد و چون با افزایش غلطت محلول‌پاشی مجموع طول ریشه افزایش پیدا کرده است، وزن خشک ریشه نیز افزایش داشته است. نتایج فوق در گوجه‌فرنگی (Row *et al* ,1994)، نخود (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۰) و پنبه (Makhdum *et al*, 2002) گزارش شده است که محلول‌پاشی متانول اثر مثبت و افزایشی بر وزن خشک ریشه دارد.

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد، که بیشترین سطح ریشه در محلول‌پاشی با غلظت ۳۰٪ حجمی متانول به دست می‌آید که اختلاف آماری معنی‌داری با کلیه تیمارهای مورد بررسی داشت. محلول‌پاشی با غلظت ۲۰٪ حجمی اختلاف آماری معنی‌دار با محلول‌پاشی با غلظت ۱۰٪ نداشت. همچنین بین تیمار شاهد و محلول‌پاشی با غلظت ۱۰٪ نیز اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). گزارش شده است که در نخود، محلول‌پاشی با غلظت ۱۰٪ درصد حجمی بیشترین میزان سطح ریشه‌ها را تولید می‌کند که اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار شاهد دارد (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۲) که با نتایج این تحقیق منطبق است. اعتقاد بر این است که افزایش سطح ریشه با افزایش جذب آب و مواد غذایی، سبب افزایش تحمل به تنش‌های محیطی و استفاده کارآمد از عناصر غذایی می‌تواند می‌شود.

محلول‌پاشی با غلظت ۳۰٪ متانول بیشترین حجم ریشه را تولید کرد که اختلاف آماری معنی‌داری با محلول‌پاشی با غلظت ۲۰٪ نداشت (جدول ۴). افزایش حجم ریشه با افزایش غلظت محلول‌پاشی، به دلیل تولید ریشه‌های بیشتر مربوط می‌شود که این امر در محلول‌پاشی با غلظت های بالاتر مشاهده گردید.

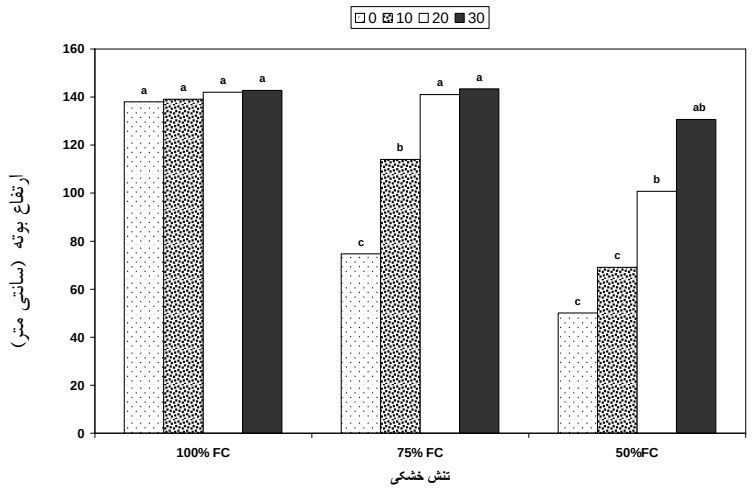
وزن ویژه ریشه واکنش کمتری نسبت به سایر خصوصیات ریشه به محلول‌پاشی متانول نشان داد، ، به نحوی که اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارهای محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف مشاهده نشد. تیمار شاهد، کمترین وزن ویژه ریشه را تولید کرد (جدول ۴).

در بین اثرات متقابل مورد بررسی، ارتفاع گیاه، وزن خشک ریشه، اندام هوایی و وزن ویژه ریشه تحت اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی متانول قرار گرفت (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی، واکنش ارتفاع به محلول‌پاشی متانول شدیدتر بود. در شرایط آبیاری مطلوب (ظرفیت زراعی ۱۰۰٪) اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارهای محلول‌پاشی مشاهده نشد در حالی که در شرایط آبیاری بعد از رسیدن به ظرفیت زراعی ۵۰٪، افزایش غلظت محلول‌پاشی سبب کاهش اثرات

Archive of SID

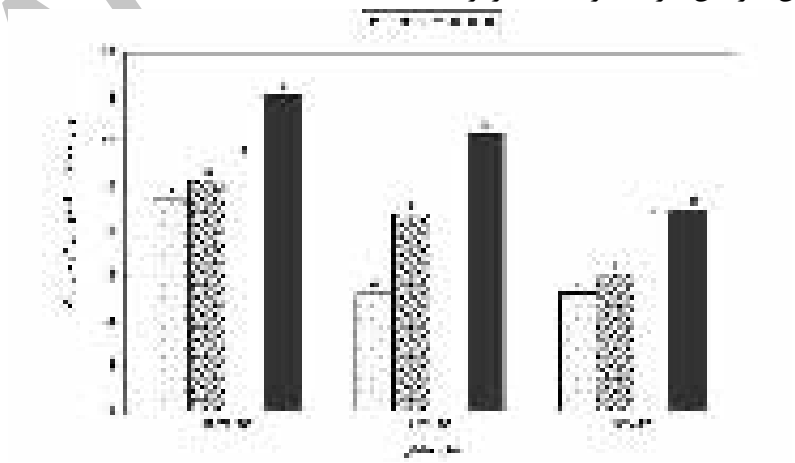
www.SID.ir

تنش بر ارتفاع گیاه شد، به نحوی که محلول‌پاشی با غلظت ۳۰٪ متانول در دو شرایط آبیاری بعد از رسیدن به ۵۰ و ۷۵٪ ظرفیت زراعی بیشترین ارتفاع را در گیاه تولید نمود (شکل ۱).



شکل ۱- اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی متانول بر ارتفاع بوته ذرت

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد، که محلول پاشی با متانول در شرایط تنش خشکی در مقایسه با تیمار شاهد بیشترین واکنش را به غلظت محلول پاشی متانول دارد. اگرچه در شرایط تیمار شاهد و محلول پاشی با غلظت ۳۰٪ متانول بیشترن وزن اندام هوایی مشاهده شد، اما در شرایط آبیاری بعد از رسیدن رطوبت به۵۰ و ۷۵٪ ظرفیت زراعی در مقایسه با عدم محلول پاشی متانول وزن خشک ساقه به ترتیب ۶۹ و ۱/۳۶ درصد افزایش پیدا کرد. در حالیکه این میزان افزایش در تیمار شاهد برابر با ۴۹ درصد بود (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد در شرایط آبیاری بعد از رسیدن رطوبت به ۷۵٪ ظرفیت زراعی تحریک اولیه رشد ریشه سبب شده است که گیاه ریشه دوانی بهتری نیز داشته باشد که این امر موجب می شود مواد غذایی بیشتری در مقایسه با زمانیکه به دلیل رطوبت مناسب اکثر ریشه ها در سطح خاک پراکنده شده‌اند داشته باشد و جذب بیشتر مواد غذایی سبب تولید مواد فتوسنتزی بیشتری شده که این امر سبب افزایش تولید ماده اندام هوایی می گردد.

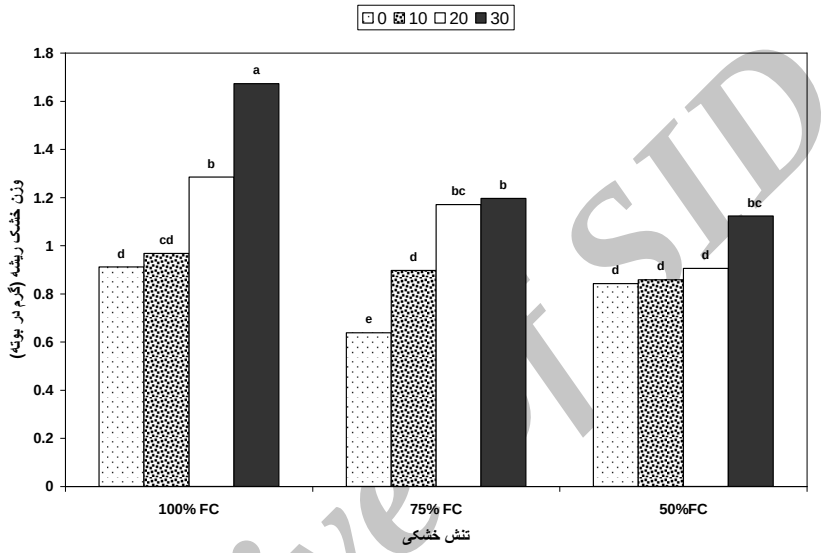


شکل ۲- اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی متانول بر وزن خشک اندام هوایی

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش غلظت محلول‌پاشی با متانول در شرایط آبیاری بعد از رسیدن رطوبت به ۵۰٪ ظرفیت زراعی کمترین واکنش را از نظر وزن خشک ریشه نشان داد، و در تیمار شاهد، بیشترین واکنش به محلول‌پاشی با متانول مشاهده گردید، به نحوی که بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار شاهد و محلول‌پاشی با غلظت ۳۰٪ حجمی متانول مشاهده شد (شکل ۲). در این شرایط مناسب‌تر بودن شرایط رطوبتی برای تولید ریشه‌های بیشتر از یک طرف و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی اضافی که بر اثر محلول‌پاشی با متانول تولید شده‌اند از طرف دیگر، دلیل اصلی افزایش وزن خشک ریشه بوده است. در شرایط تنش اگرچه افزایش غلظت محلول‌پاشی با متانول سبب افزایش وزن خشک ریشه شد، اما واکنش وزن خشک ریشه کمتر بود.

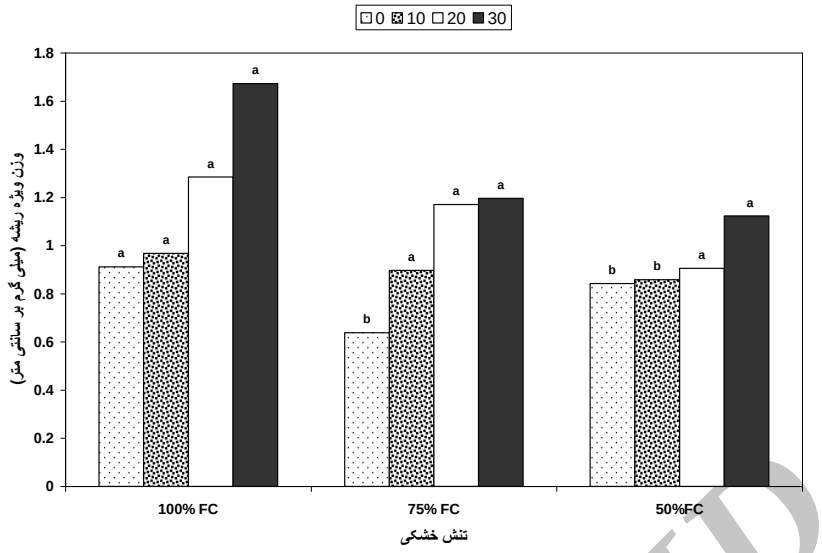


شکل ۲- اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی متانول بر وزن خشک ریشه

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد، که در تیمار شاهد، اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارهای محلول‌پاشی مشاهده نگردید، اگرچه بیشترین وزن ویژه ریشه در محلول‌پاشی با غلظت ۳۰٪ حجمی مشاهده شد. عدم محلول‌پاشی در شرایط آبیاری بعد از رسیدن به ۷۵٪ ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی با غلظت ۱۰٪ و عدم محلول‌پاشی در شرایط آبیاری بعد از رسیدن به ۵۰٪ ظرفیت زراعی، کمترین وزن ویژه ریشه را تولید کرد (شکل ۳) که بیانگر این مطلب است که اثرات محلول‌پاشی بر وزن خشک ریشه و طول ریشه مثبت بوده و همزمان سبب افزایش هر دو صفت شده است. این امر سبب واکنش کمتر وزن ویژه ریشه به تنش خشکی و محلول‌پاشی با متانول شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی متانول بر وزن ویژه ریشه ذرت

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد، که اثرات تنش خشکی بر خصوصیات اندام‌های هوایی بیشتر از اندام‌های زیرزمینی است و با افزایش تنش خشکی، خصوصیات اندام هوایی کاهش بیشتری در مقایسه با خصوصیات اندام زیرزمینی نشان می‌دهد. اگرچه محلول‌پاشی با غلظت ۳۰٪، اثرات منفی بر رشد و نمو ذرت در شرایط تنش خشکی نداشت، اما محلول‌پاشی با غلظت ۲۰٪ حجمی بیشترین شاخص‌های رشدی ذرت را در شرایط تنش خشکی تولید کرد.

منابع

احیایی، ح. ر.، م. پارسا، م. کافی، و م. نصیری محلاتی. ۱۳۸۹. اثر محلول‌پاشی متانول و دور آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم نخود. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران. ۱(۲): ۳۷- ۴۸.

اسفینی فراهانی، م.، ف. پاک‌نژاد، ع. کاشانی، م. ر. اردکانی، م. بختیاری مقدم، و م. رضایی. ۱۳۹۱. تأثیر محلول‌پاشی متانول بر عملکرد و اجزاء عملکرد آفتابگردان (رقم آذرگل) تحت شرایط مختلف رطوبتی. مجله زارعت و اصلاح نباتات. ۸ (۱) : ۱۱۵-۱۲۵.

حسین زاده، س. ر.، ا. سلیمی، و ع. گنجعلی. ۱۳۹۲. تأثیر کاربرد متانول بر برخی خصوصیات مرتبط با رشد ریشه نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تنش خشکی. فصلنامه علمی تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۵ (۱۷): ۵-۱۶.

حیدری شریف‌آباد، ح. ۱۳۸۳. جذب آب و تعرق. وزارت جهاد کشاورزی. معاونت زراعت. کمیته ملی خشکی و خشکسالی کشاورزی

ربانی، ج. و ب. امام. ۱۳۹۰. پاسخ عملکرد دانه هیبریدهای ذرت به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد. مجله تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی.۱ (۲): ۶۵-۷۸.

رفیعی، م.، م. کریمی، ق. نورمحمدی، و ح. نادیان. ۱۳۸۸. اثرات تنش خشکی و مقادیر روی و فسفر بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای. فصلنامه علمی تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱(۲): ۵۸-۶۶.

Archive of SID

www.SID.ir

سبک روفومنی، ک .، م. ن. صفرزاده، ج. دانشیان و م. رنجبر چوبه، و ج. سبک روفومنی. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر زمان و مقادیر محلول‌پاشی متانول بر عملکرد کمی و کیفی توتون گرم‌خانه‌ای رقم کوکر ۳۴۷ در منطقه احمد گوراب رشت. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی. ۱۸(۳): ۱۷-۳۰.

صفرزاده ویشکایی، م.ن.، ق. نورمحمدی، الف. مجیدی، و ب. ربیعی. ۱۳۸۶. اثر متانول بر رشد و عملکرد بادام زمینی، علوم کشاورزی، ۱۳(۱): ۸۷-۱۰۴.

گنجعلی، ع. م. کافی، و م. ثابت تیموری. ۱۳۸۹. تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیکی ریشه و اندام هوایی نخود (*Cicer arietinum* L) در واکنش به تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۳ (۱): ۳۵-۴۵.

مراد، ش.، س. منصوری، ف.، م. قبادی، و ر. اشرفی پارچین. ۱۳۹۰. اثر تنش خشکی و کود نیتروژنه آغازگر بر خصوصیات ریشه و عملکرد چهار ژنوتیپ نخود . به زراعی نهال و بذر. ۲۷(۴): ۴۵۱-۴۷۰.

نادعلی، ا.، ف. پاک‌نژاد، ف. مرادی، س. وزان، و ع.ر. پازکی. ۱۳۸۹. اثر محلول‌پاشی متانول بر عملکرد و صفات کیفی چغندرقند. مجله زارعت و اصلاح نباتات. ۶ (۱): ۸۹-۹۷.

نادعلی، ا.، ف. پاک نژاد، ف. مرادی، س. وزان، و ع.ر. پازکی. ۱۳۸۹. اثر محلول‌پاشی متانول بر محتوای آب نسبی، محتوای کلروفیل و فلورسانس کلروفیل برگ چغندرقند در شرایط تنش کمبود آب. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۱ (۴): ۷۳۱-۷۴۰.

Aerts, R. and F.S. Chapin. 1999. The mineral nutrition of wild plants revisited: re evaluation of processes and patterns. Advences in Ecological Research. 62: 26-34.

Benjamin, J. and D. Nielsen. 2006. Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. Field Crops Research. 97(2): 248-253.

Dorn, T., B. Anderson and R.J. Rasby. 2002. Drought-stressed corn. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension: 64.

Downie, A., S. Miyazaki, H. Bohnert, P. John, J. Coleman, M. Parry, and R. Haslam. 2004. Expression profiling of the response of arabidopsis thaliana to methanol stimulation. Phytochemistry. 65(16): 2305-2316.

Ebrahim, M.K. and M.M. Aly. 2005. Physiological response of wheat to foliar application of zinc and inoculation with some bacterial fertilizers. Journal of plant nutrition. 27(10): 1859-1874.

Ganjeali, A. 2012. Effects of foliar application of methanol on growth and root characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. European Journal of Experimental Biology, 2.

Hernandez, L., C. Pellegrini and L. Malla. 2000. Effect of foliar applications of methanol on growth and yield of sunflower (*Helianthus animus* L.). Int. J Exp Bot. 66 (2000): 1-8.

Kim, S.G., J.-S. Lee, J.-T. Kim, Y.S. Kwon, D.-W. Bae, H.H. Bae, B.-Y. Son, S.-B. Baek, Y.-U. Kwon and M.-O. Woo. 2015. Physiological and proteomic analysis of the response to drought stress in an inbred korean maize line. Plant Omics. 8(2): 159-171.

Makhdum, M., M. Malik, S. Din, F. Ahmad, and F. Chaudhry. 2002. Physiological response of cotton to methanol foliar application. J. Res. Sci. 13: 37-43.

Archive of SID

www.SID.ir

Osborne, S., J.S. Schepers, D. Francis, and M.R. Schlemmer. 2002. Use of spectral radiance to estimate in-season biomass and grain yield in nitrogen-and water-stressed corn. Crop Science. 42(1): 165-171.

Timl, A., A. Setter, S. Brian and J. Konian. 2001. Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize: Carbohydrate supplies. Abscisic asid, and cytokinin. Crop. Science, 41: 1530-1540.

Zbieć, I., S. Karczmarczyk and C. Podsiadło. 2003. Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. 6(1).15-28.

NeSmith, D. and J. Ritchie. 1992. Effects of soil water-deficits during tassel emergence on development and yield component of maize (*Zea mays*). Field Crops Research. 28(3): 251-256.

Nielsen, R. 2001. Stand establishment variability in corn. Dept. of Agronomy publication# AGRY-91-01. Purdue University, West Lafayette, IN.

Nonomura, A. and A. Benson. 1992. The path of carbon in photosynthesis: Improved crop yields with methanol. Proceedings of the National Academy of Sciences. 89 (20): 9794-9798.

Archive of SID

www.SID.ir